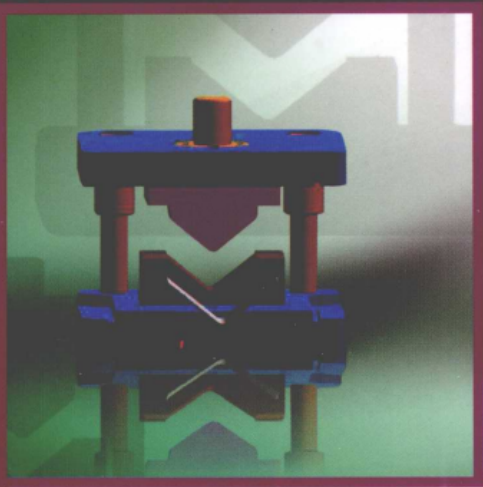
高职高专“十一五”规划示范教材



张永春 主编

冷冲压及塑料模具设计与制造

北京航空航天大学出版社

策划编辑：蔡　喆
封面设计：runsign

高职高专“十一五”规划示范教材

- 计算机文化基础　定价：25.00
- 计算机文化基础实训　定价：15.00
- 计算机网络技术　定价：24.00
- 计算机组装与维护　定价：16.00
- 软件工程技术　定价：20.00
- 路由器交换机原理及应用　定价：22.00
- MCS-51单片机原理与应用实验实训教程　定价：16.00
- 微机原理与接口技术简明教程　定价：21.00
- 三维动画设计实例教程——基于3DS MAX 8　定价：25.00
- Visual Basic.NET程序设计　定价：29.80
- 数据库原理与应用——Access　定价：25.00
- 计算机网络操作系统——Windows Server 2003的管理与配置　定价：24.00
- C语言程序设计　定价：27.00
- 网络规划与系统集成　定价：27.00
- 计算机辅助数学教学实用教程　定价：29.80
- 程序设计基础　定价：22.00
- 办公室工作实务　定价：24.00
- 社会工作法律实务　定价：19.00
- 高职高专毕业设计与论文写作案例式教程（第2版）　定价：19.00
- 电工与电子技术基础　定价：36.00
- 电工基础　定价：33.00
- C#程序设计语言任务驱动式教程　定价：26.00
- 冷冲压及塑料模具设计与制造　定价：29.80

上架建议：机械工程

ISBN 978-7-81124-393-2
9 787811 243932 >
定价：29.80元

高职高专“十一五”规划示范教材

冷冲压及塑料模具设计与制造

张永春　主编

北京航空航天大学出版社

内容简介

本书系统介绍了冷冲压及塑料模具设计、制造的基础知识。全书主要由冷冲压模具设计、塑料模具设计和模具制造三部分组成。冷冲压模具设计部分主要介绍冲裁模、弯曲模和拉深模，并以冲裁模为主，讲述冷冲压成型工艺、各种典型冷冲压模具的结构组成、模具及其主要零部件设计过程；塑料模具设计部分主要介绍注射模和压缩模，并以注射模为主，讲述塑料的种类及性能、塑件的设计、注射模和压缩模的结构组成、模具及其主要零部件设计过程；模具制造部分介绍模具制造的基本要求及工艺过程、模具零件的常用加工方法、冷冲压模具和塑料模的装配方法及过程。

本书可作为高职高专数控、机电、机制等专业及应用型本科机械类非模具专业教材，也可作为从事模具设计与制造的专业技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

冷冲压及塑料模具设计与制造/张永春主编．—北京：
北京航空航天大学出版社，2008.8
ISBN 978-7-81124-393-2

Ⅰ．冷… Ⅱ．张… Ⅲ．①冷冲模—设计②冷冲模—制模工艺③塑料模具—设计④塑料模具—制模工艺 Ⅳ．
TG385.2 TQ320.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 100926 号

© 2008，北京航空航天大学出版社，版权所有。
未经本书出版者书面许可，任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或传播本书及其所附光盘内容。
侵权必究。

冷冲压及塑料模具设计与制造
张永春 主编
责任编辑 史海文 杨 波
*
北京航空航天大学出版社出版发行
北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话：010-82317024 传真：010-82328026
http://www.buaapress.com.cn E-mail:bhpress@263.net
涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销
*
开本：787×1 092 1/16 印张：19.25 字数：493 千字
2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷 印数：4 000 册
ISBN 978-7-81124-393-2 定价：29.80 元

前　言

随着机械、汽车、电子、航空航天、建筑和轻工等行业的发展，由模具成型的产品需求量越来越大，涉及的领域越来越广。不但是模具专业的学生，机械类非模具专业的学生也需要了解并掌握模具设计制造的基本知识和技能。

本教材根据高等技术应用型人才培养的特点，结合当前模具在企业中的应用情况，组织了有多年从事模具技术生产实践和教学经验的教师，编写了这本《冷冲压及塑料模具设计与制造》教材。

本教材的主要内容由两大类模具（冷冲压模具和塑料模具）三大部分（冷冲压模具设计、塑料模具设计和模具制造）组成。冷冲压模具介绍冲裁、弯曲、拉深三种模具；塑料模具介绍热塑性和热固性两大类塑料最常用、最典型的注射模和压缩模；模具制造主要包括模具加工和装配。

本教材主要针对非模具专业的教学，要求掌握基本的知识和技能，理论知识以够用为度，力求简单、易懂、突出重点。设计部分以冲裁模、注射模为主；制造部分以结合加工、装配的示例为主；突出实践性、实用性和方便性。设计部分每种类型的模具都有典型模具的设计示例，制造部分的数控加工、特种加工和装配试模也都有相应的实例；每章后面均附有习题。另外，附录中附有冲裁模和注射模拆装实验指导书，能够满足教学过程中涉及的两个主要实验的需要。

本教材共4章，第1章、第3章（3.1，3.2，3.3和3.5节）及附录由大连水产学院职业技术学院张永春编写；第2章（2.1和2.2节）由杭州职业技术学院余永平编写；第2章（2.3，2.4和2.5节）由衢州学院（筹）刘文军编写；第4章由金华职业技术学院俞鸿斌编写；第3章3.4节由大连水产学院职业技术学院蒋月静编写。全书由张永春主编，并负责全书的统稿及修改工作，由俞鸿斌、余永平、刘文军任副主编。赵成喜、王冰冰、赵博参与了部分插图的绘制及课件的制作。

在编写本教材的过程中，编者参阅了相关的文献，这些文献对本教材的编写起到了重要作用。在此编者对这些参考文献的编著者致以衷心感谢。

限于编者的水平，书中的错误和不当之处，恳请广大读者批评指正。

编　者

2008年8月

目　录

第1章　绪　论 …… 1
1.1　模具及模具工业在工业生产中的地位 …… 1
1.2　模具技术发展趋势 …… 1
1.3　模具的分类 …… 3
1.3.1　冷冲压模具的分类 …… 3
1.3.2　塑料成型模具的分类 …… 3
习　题 …… 4
第2章　冷冲压模具设计 …… 5
2.1　冷冲压概述 …… 5
2.1.1　冷冲压的概念及特点 …… 5
2.1.2　冷冲压的基本工序 …… 5
2.1.3　常用冲压材料 …… 8
2.1.4　冷冲压模具与冷冲压设备的关系 …… 9
2.2　冲裁模设计 …… 11
2.2.1　冲裁工艺及设计计算 …… 11
2.2.2　冲裁模的结构组成及分类 …… 32
2.2.3　冲裁模典型结构 …… 34
2.2.4　冲裁模主要零部件的设计与选用 …… 42
2.2.5　冲裁模设计实例 …… 65
2.3　弯曲模设计 …… 72
2.3.1　弯曲工艺及设计计算 …… 72
2.3.2　弯曲模典型结构 …… 81
2.3.3　弯曲模设计实例 …… 87
2.4　拉深模设计 …… 91
2.4.1　拉深工艺及设计计算 …… 91
2.4.2　拉深模典型结构 …… 110
2.4.3　拉深模设计实例 …… 114
2.5　冷冲压模具设计的步骤 …… 120
2.5.1　搜集、分析冲压工艺的原始资料 …… 120
2.5.2　分析冲压件的工艺性并确定工艺方案 …… 121
2.5.3　模具结构类型的选择 …… 121
2.5.4　模具零部件的设计、选用及计算 …… 121
2.5.5　绘制冷冲模总装图 …… 122
2.5.6　绘制冲模非标准零件图 …… 123

习　题 …… 123
第 3 章　塑料模具设计 …… 126
3.1　塑料概述 …… 126
3.1.1　塑料的组成及特性 …… 126
3.1.2　塑料的分类 …… 127
3.1.3　塑料的工艺性能 …… 128
3.1.4　常用塑料简介 …… 131
3.2　塑料制件的设计 …… 134
3.2.1　塑件的尺寸、精度和表面质量 …… 134
3.2.2　塑件的结构设计 …… 137
3.2.3　螺纹的设计 …… 142
3.2.4　齿轮的设计 …… 143
3.2.5　带嵌件塑件的设计 …… 143
3.3　注射模设计 …… 144
3.3.1　注射成型原理及工艺 …… 144
3.3.2　注射模的结构组成及分类 …… 146
3.3.3　注射模典型结构 …… 148
3.3.4　注射模与注射机的关系 …… 152
3.3.5　分型面的设计 …… 157
3.3.6　浇注系统和排气系统设计 …… 160
3.3.7　成型零部件设计 …… 168
3.3.8　结构零部件设计 …… 175
3.3.9　推出机构设计 …… 181
3.3.10　侧向分型与抽芯机构设计 …… 187
3.3.11　温度调节系统设计 …… 193
3.3.12　注射模设计实例 …… 197
3.4　压缩模设计 …… 202
3.4.1　压缩模的结构组成及分类 …… 203
3.4.2　压缩模与压力机的关系 …… 206
3.4.3　压缩模成型零部件设计 …… 208
3.4.4　压缩模脱模机构设计 …… 215
3.4.5　压缩模设计实例 …… 221
3.5　塑料模具设计程序 …… 225
3.5.1　接受设计任务 …… 225
3.5.2　搜集、分析和消化原始资料 …… 225
3.5.3　塑件基本参数的计算及成型设备的选择 …… 225
3.5.4　确定模具结构 …… 225
3.5.5　绘制模具结构草图并校核模具与成型设备的有关参数 …… 226
3.5.6　模具设计的有关计算 …… 226

3.5.7　绘制模具总装图和零件图 …… 226
3.5.8　图样的审核 …… 226
习　题 …… 227
第 3.1 节习题 …… 227
第 3.2 节习题 …… 227
第 3.3 节习题 …… 227
第 3.4 节习题 …… 228
第 4 章　模具制造 …… 229
4.1　模具制造的基本要求、特点及工艺过程 …… 229
4.1.1　模具制造的基本要求 …… 229
4.1.2　模具制造的特点 …… 231
4.1.3　模具制造的工艺过程 …… 232
4.2　模具零件的加工 …… 233
4.2.1　模具零件的加工分析 …… 233
4.2.2　模具成型零件的机械加工 …… 235
4.2.3　模架及其他结构零件的机械加工 …… 248
4.2.4　模具成型零件的电火花成型加工 …… 257
4.2.5　模具成型零件的电火花线切割加工 …… 265
4.2.6　模具的光整加工与表面处理 …… 277
4.3　模具的装配 …… 280
4.3.1　模具装配的方法 …… 281
4.3.2　冷冲压模具的装配 …… 282
4.3.3　塑料模具的装配 …… 287
习　题 …… 297
附录：冷冲模和塑料模拆装实验指导书 …… 298
实验一　冷冲模拆装实验 …… 298
实验二　注射模拆装实验 …… 299
参考文献 …… 300

第1章 绪 论

1.1 模具及模具工业在工业生产中的地位

模具是利用其特定形状成型具有一定形状和尺寸的制品的工具，是工业产品生产用的重要工艺装备。在现代工业生产中，模具作为一种高附加值和技术密集型产品，由于具有加工效率高、互换性好、质量好、节约能源和原材料等一系列优点，是其他新产品制造方式所不能比拟的，得到了广泛应用。模具技术水平的高低已成为衡量一个国家制造水平的重要标志之一。

模具工业有“不衰亡工业”之称，是工业发展的基础。随着机械、汽车、电子、航空航天、建筑和轻工等行业的发展，由模具成型的产品需求量越来越大，质量要求也越来越高，这就对相应的模具技术水平提出了更高的标准和要求。因此，模具设计水平的高低、模具制造能力的强弱以及模具质量的优劣，都直接影响着许多新产品的开发和老产品的更新换代，影响着各种产品的质量、经济效益的增长以及整体工业水平的提高。

目前，在汽车、电子、通信和日用品等行业中，有80%左右的产品是需要由模具来加工成型的。美国工业界认为“模具工业是美国工业的基石”，日本称“模具是进入富裕社会的原动力”，在欧美其他一些发达国家则把模具工业称为“磁力工业”。工业发达国家，其模具工业年产值早已超过机床行业的年产值。近几年，世界模具市场总体上供不应求，市场需求量已超过700亿美元，我国模具产业总产值则保持了13%的年增长率。由此可见，模具工业在各国国民经济中的重要地位。

据有关资料统计，在国内外模具工业中，冲压模占模具总量的40%左右，塑料模近年来发展迅速，也占到模具总量的近40%，压铸模占模具总量10%～15%，粉末冶金模、陶瓷模等其他各类模具占10%左右。

1.2 模具技术发展趋势

随着模具生产的产品种类不断增多、质量要求越来越高，对模具的设计水平、制造水平以及选材等方面提出了越来越高的要求。下面仅就模具的设计、制造和模具的选材等方面，简单介绍一下模具技术的发展趋势。

1. 模具CAD/CAE/CAM技术的广泛应用

模具CAD/CAE/CAM技术是模具技术发展的一次革命。它可以使工程技术人员借助于计算机对产品性能、模具结构、成型工艺、数控加工及生产管理进行设计和优化。将模具CAD，CAE和CAM有机结合在一起，实现集成化、智能化、网络化和标准化，让用户在统一的环境中实现协同作业，充分发挥各自的优势和功效，实现信息的综合管理与共享，从而支持模具设计、制造、装配、检验、测试及生产管理的全过程，达到高质量、高效率、低成本的目标，以适应用户对产品个性化的追求。

经过了近20年的发展，模具CAD/CAE/CAM技术取得了一定的成效。今后在一定时期

内，模具 CAD/CAE/CAM 技术将在模具设计、制造过程中进一步完善，得到更深入、更广泛的应用。

2. 模具制造技术的高效、快速化

随着模具制造技术的发展，先进的模具加工技术、加工设备不断出现，模具制造手段越来越丰富，水平越来越高。

快速原型制造(RPM)技术是综合运用计算机辅助设计技术、数控技术、激光成型技术和新材料技术的一种全新制造技术，采用分层增材制造的新概念取代了传统的去材或变形法加工，是当代最具有代表性的制造技术之一。利用快速成型技术不需任何工装，可快速自动完成复杂工件的制造。此法制造模具，从模具的概念设计到制造完成，仅为传统制造方法所需时间的 1/3 和成本的 1/4，减少了产品开发风险，缩短了研制周期，降低了制造成本。

近年来，高速铣削加工技术在模具加工中得到了进一步的应用，其主轴转速已达 15 000～100 000 r/min，进给速度高达 80 m/min，空运行速度可达 100 m/min。在加工精度方面，加工精度已由 10 μm 提高到 5 μm，精密级加工中心则从 3～5 μm 提高到 1～1.5 μm。高速切削加工具有加工效率高、工件温升小、热变形小和加工过程平稳等优点。目前，高速铣削加工已向更高的集成化、敏捷化和智能化方向发展。

3. 模具的精密化、微型化和大型化

随着模具生产的产品应用领域不断扩大，大型的甚至超大型的、微型的、复杂的和精密的产品，其生产用的模具也需要相应地向大型化、微型化和精密化方向发展。这类模具从设计到制造难度较大，需要先进的设计制造技术。除此之外，对相应的成型设备也提出了很高的要求。

4. 逆向工程技术的采用

在模具的开发过程中，引入一种先进的产品开发设计方法，从已有的产品着手，避开艰苦繁琐的原型设计阶段，这就是逆向工程技术。它是用一定的测量手段对模具实体或模型进行测量，获得表面的空间数据，然后根据所测量的数据通过三维几何建模的方法重构模具的 CAD 模型，再输送到 CAM 系统进行数控编程，最后完成模具的加工制造。采用逆向工程技术，大大缩短了模具的设计制造周期，优化了模具研发制造过程，提高了模具设计质量，提高了模具企业快速应变市场的能力。

5. 优质模具材料的研发和先进热处理技术的应用

在模具的设计和制造过程中，模具材料的选取关系到模具的制造工艺、模具的使用寿命、被加工件的质量以及制造成本等重要问题。国内外模具材料的研究工作者在分析模具的工作条件、失效形式和如何提高模具使用寿命途径的基础上进行了大量的研究工作，并已开发出了许多具有良好使用性能和加工性能、热处理变形小、导热性优异的新型模具材料，如预硬钢、马氏体时效钢和耐腐蚀钢等。

模具热处理是模具制造过程中很重要的一道工序，是模具材料能否发挥其最佳性能的关键。模具热处理的发展方向是采用真空热处理，模具表面处理则在进一步研究传统的渗碳、渗氮和渗铬等表面处理方法基础上，发展工艺先进的气相沉积、等离子喷涂等表面处理技术。

6. 提高模具标准化水平

模具标准化水平的高低也标志了模具工业的发展水平。模具标准化是实现模具专业化生产的前提，也是提高劳动生产率，缩短模具制造周期，提高模具质量，降低成本的一个重要条

件。当前发达国家的模具标准件使用覆盖率已达到80%左右，我国模具标准件使用覆盖率则达到40%左右。为推动模具工业快速发展，模具标准化程度必将会进一步提高。

1.3 模具的分类

在各种材料加工工业中广泛使用着各种模具，按成型的对象和方式来分，模具大致可分为3类：①金属板料成型模具，如冷冲压模具；②金属体积成型模具，如压铸模、锻造模和粉末冶金模等；③非金属材料成型模具，如塑料模具、玻璃模具和陶瓷模具等。其中，冷冲压模具和塑料模具应用最广，约占模具总量的80%。本书就针对这两种类型的模具加以介绍。

1.3.1 冷冲压模具的分类

冷冲压模具（又称冷冲模）是指在冷冲压加工过程中，将材料（金属或非金属）加工成冲件（或零件）的一种工艺装备，是实现冷冲压加工必不可少的工艺装备。

冷冲模的分类方法很多，常用的有以下几种分类方法：

① 按工序性质分类，可分为冲裁模、弯曲模、拉深模和成型模等。

② 按模具工序组合程序分类，可分为单工序模、级进模（又称连续模）和复合模。

③ 按模具的导向性质分类，可分为无导向模（又称开式模）、有导向的导板模和有导向的导柱模。

1.3.2 塑料成型模具的分类

不同的塑料成型方法使用原理和结构各不相同的塑料成型模具。按照塑料制件成型方法的不同，可将塑料成型模具分为以下几类。

1. 注射成型模具

注射成型模具简称注射模，又称注塑模。注射模为塑料注射成型所用的模具。注射成型是将塑料原料先加入到注射机的料筒内，经过加热熔融成粘流态，在注射机螺杆或柱塞的推动下，经喷嘴注入模具型腔，塑料在模具型腔内硬化定型。注射模主要用于热塑性塑料的成型，但近年来也有越来越多的热固性塑料采用该方法成型。注射成型在塑料成型生产中占有很大比重，塑料模具约半数以上为注射模。

2. 压缩成型模具

压缩成型模具简称压缩模、压模，又称压制模。压缩模为塑料压缩成型所采用的模具。压缩成型是将塑料原料直接加在敞开的模具型腔内，再将模具闭合，在热和压力作用下，塑料呈流动状态并充满型腔，然后由于化学或物理变化使塑料固化（或硬化）定型。压缩模多用于热固性塑料的成型，也有少部分用来成型热塑性塑料的。另外，还有不加热的冷压成型模具，用于成型聚四氟乙烯坯件等。

3. 压注成型模具

压注成型模具又称传递成型模具，简称压注模、传递模。压注模是压注成型所采用的模具。压注成型是将塑料原料加入到预热的加料室，使其受热熔融，在压柱或柱塞压力作用下，塑化熔融的塑料经模具浇注系统被压入闭合的型腔，塑料在型腔内继续受热受压而固化成型。压注模多用于热固性塑料的成型。

4. 挤出成型模具

挤出成型模具又称挤出成型机头或模头。挤出成型模具是挤出成型所采用的模具。挤出成型是将挤出的处于粘流态的塑料在高温高压下，通过具有特定截面形状的机头口模，然后在较低温度下定型，以生产具有一定截面形状的连续型材。几乎所有的热塑性塑料和部分热固性塑料均可采用挤出成型。

5. 中空吹塑成型模具

中空吹塑成型模具是中空制品吹塑成型所采用的模具。中空吹塑成型是将挤出或注射出的处于半熔融态的管状型坯，趁热置于闭合的模具型腔内，向型坯内部通入压缩空气，使其膨胀并紧贴于模具型腔壁上，经冷却定型后就成了具有一定形状和尺寸精度的中空制品。热塑性塑料一般都能进行中空吹塑，但满足中空吹塑成型要求的并不多，目前应用得最广的是聚乙烯和热塑性聚酯。

6. 真空和压缩空气成型模具

真空和压缩空气成型模具均为一单独的阴模或阳模。真空成型和压缩空气成型有许多地方是相同的。

真空成型是将预先制成的塑料片材周边紧压在模具周边上，在两者之间形成封闭的空腔，加热使塑料软化，然后在空腔内抽真空，使塑料片材紧贴到模具型腔表面，冷却定型即可得到塑料制品。

压缩空气成型也是将预先制成的塑料片材周边紧压在模具周边上，在两者之间形成封闭的空腔，加热使塑料软化，然后在空腔内充入压缩空气，使塑料片材紧贴到模具型腔表面，冷却定型即可得到塑料制品。

除了上述介绍的几种常用的塑料模具外，还有泡沫塑料成型模具、玻璃纤维增强塑料低压成型模具等。

习　题

1. 模具及模具工业在工业生产中起什么作用？
2. 简介模具发展的趋势。
3. 模具如何分类？

第2章　冷冲压模具设计

2.1　冷冲压概述

2.1.1　冷冲压的概念及特点

机器制造中的塑性加工方法主要有锻造和冲压两类。冲压属于板料成型，是利用模具在压力机作用下，使金属板料产生分离或变形，以获得一定形状和尺寸的零件（以下统称工件）的加工方法。由于板料冲压在常温下进行，故也常称为冷冲压。在冷冲压加工中，将材料（金属或非金属）加工成冲压件的工艺装备称为冷冲压模具。在冲压件的生产中，合理的冲压成型工艺、先进的模具、高效的冲压设备是必不可少的三要素。

冷冲压与其他机械加工方法相比，在技术和经济方面有如下特点：

① 冲压加工的生产效率高，且操作方便，对工人的要求也不高，易于实现机械化与自动化。普通压力机每分钟可生产几十件零件，高速压力机每分钟可生产几百甚至上千件零件。所以它是一种高效率的加工方法。

② 冲压件的尺寸精度由模具来保证，所以质量稳定、互换性好。

③ 冲压可加工出尺寸范围较大、形状较复杂的零件，小到仪表零件，大到汽车覆盖件，还可获得其他加工方法难以制造的壁薄、质量轻、刚性好、表面质量高、形状复杂的零件。

④ 冲压加工一般不需要加热毛坯，也不像切削加工那样，大量切削金属，所以它不但节能，而且节约金属，冲压件的成本较低。

由于冲压工艺具有上述突出的特点，因此在国民经济各个领域广泛应用。例如，航空航天、机械、电子信息、交通、兵器、日用电器及轻工等产业都有冲压加工。不但在工业生产中广泛采用冲压工艺，而且可以说每个人每天都直接与冲压产品发生联系。

冲压可制造钟表及仪器的小零件，也可制造汽车、拖拉机的大型覆盖件。冲压材料可使用黑色金属、有色金属以及某些非金属材料。

但是，冲压加工所使用的模具多为专用工具，有时一个复杂的零件需要多副模具才能加工成型，且模具的制造精度高、技术要求高、成本高。所以，只有在冲压件生产批量较大的情况下，冲压加工的优点才能充分体现，从而获得较好的经济效益。此外，冲压还存在一些缺点，主要表现在冲压加工时的噪声和振动这两种公害。这些问题并不完全是冲压工艺及模具本身带来的，而主要是由于传统的冲压设备落后所造成的。随着科学技术的进步，这两个问题一定会得到解决。

2.1.2　冷冲压的基本工序

生产中为满足冲压零件形状、尺寸、精度、批量大小和原材料性能的要求，冲压加工的方法是多种多样的。根据材料的变形特点及工厂现行的习惯，冲压的基本工序可分为分离工序与

成形工序两大类。

分离工序是使冲压件与板料沿要求的轮廓线相互分离并获得一定断面质量和尺寸精度的冲压加工方法。

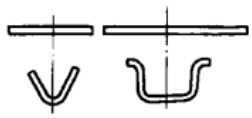
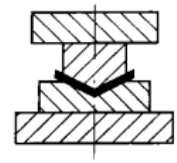
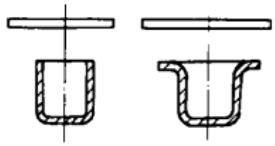
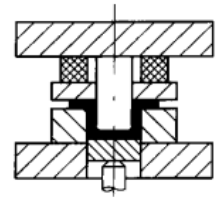
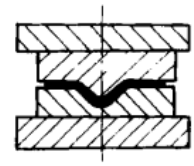
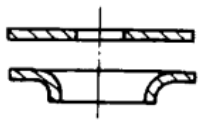
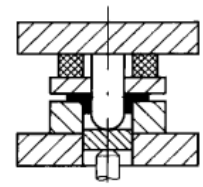
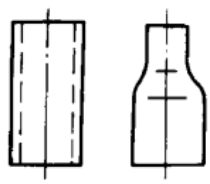
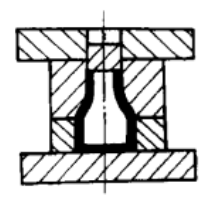
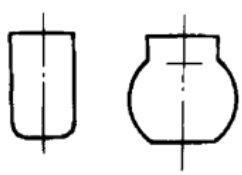
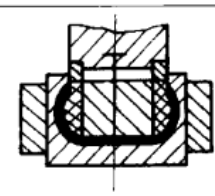
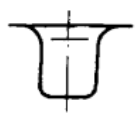
成形工序是使冲压毛坯在不被破坏的条件下发生塑性变形，以获得所要求的工件形状、尺寸和精度的冲压加工方法。

主要冲压工序的分类及相应模具简图见表 2－1。

表 2－1　主要冲压工序的分类及相应的模具

类　别	工序名称		工序简图	工序特征	模具简图
分离工序	切断		零件	用剪刀或模具切断板料，切断线不是封闭的	
	冲裁	落料	工件	用模具沿封闭线冲切板料，冲下的部分为工件	
		冲孔	废料	用模具沿封闭线冲切板料，冲下的部分为废料	
	切口			用模具将板料局部切开而不完全分离，切口部分材料发生弯曲	
	切边			用模具将工件多余的材料冲切下来	

续表 2－1

类　别	工序名称		工序简图	工序特征	模具简图
成形工序	弯曲			用模具将板料弯成一定角度或一定形状	
	拉深			用模具将板料制成开口空心件	
	成形	起伏（压筋）		用模具将板料局部拉深成凸起和凹进形状	
		翻边		用模具将板料上的孔或外缘翻成直壁	
	缩口			用模具对空心件口部施加由外向内的径向压力，使局部直径缩小	
	胀形			用模具对空心件施加向外的径向力，使局部直径扩张	
	整形			将工件不平的表面压平；将原先弯曲或拉深件压成正确形状	同拉深模具

2.1.3 常用冲压材料

1. 材料的种类

常用冲压材料一般可分为三大类：黑色金属板料、有色金属板料和非金属板料。

(1) 黑色金属

主要有普通碳素结构钢、优质碳素结构钢、合金结构钢、碳素工具钢、不锈钢及电工硅钢等。优质碳素结构钢钢板主要用于成型复杂的弯曲件和拉深件。

对冷轧钢板，根据国家标准 GB 708—88 规定，按轧制精度(钢板厚度精度)可分为 A 级和 B 级：A 级—较高精度；B 级—普通精度。

对厚度 4 mm 以下的冷轧薄钢板，根据 GB/T 13237—1991 规定：表面质量可分为Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ三组。按拉深级别又分为 Z,S,P 三级：

Ⅰ——高级的精整表面；

Ⅱ—— 较高级的精整表面；

Ⅲ—— 普通的精整表面。

Z——最深拉深级；

S——深拉深级；

P——普通拉深级。

(2) 有色金属

包括纯铜、黄铜、青铜及铝等。常用的有色金属主要有黄铜板(带)和铝板等。

(3) 非金属材料

主要有纸板、胶木板、橡胶板、塑料板、纤维板和云母等。

2. 材料的规格

冲压用材料大部分都是各种规格的板料、带料、条料和块料。

板料的尺寸较大，用于大型零件的冲压。主要规格有 500 mm×1 500 mm，900 mm×1 800 mm，1 000 mm×2 000 mm 等。

条料是根据冲压件的需要，由板料剪裁而成，用于中、小型零件的冲压。

带料(又称卷料)有各种不同的宽度和长度。成卷状供应的主要是薄料，适用于大批量生产的自动送料。

块料一般用于单件小批生产和价值昂贵的有色金属的冲压，并广泛用于冷挤压。

关于材料的牌号、规格和性能，可查阅有关设计资料和标准。表 2-2 给出了常用冷冲压材料的机械性能，从表中数据可以近似判断材料的冲压性能。

表 2-2 冷冲压常用材料的机械性能

材料名称	牌 号	材料状态及代号	力学性能			
			抗剪强度 τ/MPa	抗拉强度 σ_b/MPa	屈服点 σ_S/MPa	伸长率 δ/%
普通碳素钢	Q195	未经退火	255～314	315～390	195	28～33
	Q235		303～372	375～460	235	26～31
	Q275		392～490	490～610	275	15～20

续表 2-2

材料名称	牌　号	材料状态及代号	力学性能			
			抗剪强度 τ/MPa	抗拉强度 σ_b/MPa	屈服点 σ_S/MPa	伸长率 δ/%
碳素结构钢	08F	已退火	230～310	275～380	180	27～30
	08		260～360	215～410	200	27
	10F		220～340	275～410	190	27
	10		260～340	295～430	210	26
	15		270～380	335～470	230	25
	20		280～400	355～500	250	24
	35		400～520	490～635	320	19
	45		440～560	530～685	360	15
	50		440～580	540～715	380	13
不锈钢	1Cr13	已退火	320～380	440～470	120	20
	1Cr18Ni9Ti	经热处理	460～520	560～640	200	40
铝	1060，1050A，1200	已退火	80	70～110	50～80	20～28
		冷作硬化	100	130～140	—	3～4
硬铝	2A12	已退火	105～125	150～220	—	12～14
		淬硬并经自然时效	280～310	400～435	368	10～13
		淬硬后冷作硬化	280～320	400～465	340	8～10
纯铜	T1，T2，T3	软	160	210	70	29～48
		硬	240	300	—	25～40
黄铜	H62	软	260	294～300	—	3
		半硬	300	343～460	200	20
		硬	420	≥12	—	10
	H68	软	240	294～300	100	40
		半硬	280	340～441	—	25
		硬	400	392～400	250	13

2.1.4　冷冲压模具与冷冲压设备的关系

1. 冷冲压设备的类型

冲压设备属锻压机械。常见冷冲压设备有机械压力机(以 Jxx 表示其型号)和液压机(以 Yxx 表示其型号)。机械压力机按驱动滑块机构的种类可分为曲柄式和摩擦式；按滑块个数可分为单动和双动；按床身结构形式可分为开式(C 型床身)和闭式(Ⅱ型床身)；按自动化程度可分为普通压力机和高速压力机等。而液压机按工作介质可分为油压机和水压机。常用冷冲压设备的工作原理和特点如表 2-3 所列。

表 2-3 常用冷冲压设备的工作原理和特点

类 型	设备名称	工作原理	特 点
机械压力机	摩擦压力机	利用摩擦盘与飞轮之间相互接触并传递动力，借助螺杆与螺母相对运动原理而工作	结构简单，当超负荷时只会引起飞轮和摩擦盘之间的滑动，而不致损坏机件，但飞轮磨损太大，生产率低，适用于中小型件的加工，用于校正、压印和成型等冲压工序较为适宜
	曲柄压力机	利用曲柄连杆机构进行工作，电机通过皮带轮和齿轮带动曲轴转动，经连杆带动滑块做直线往复运动	生产率高，适用于各类冲压加工
	高速压力机	工作原理与曲柄压力机相同，但其刚度、精度和行程次数较高，一般带有自动送料和安全检测装置	生产率高，适用于大批量生产，模具一般采用多工位级进模
液压机	油压机 水压机	利用帕斯卡原理，以水和油为工作介质，采用静压力传递进行工作，使滑块做上下往复运动	压力大，而且是静压力。但生产率低，适用于拉深、挤压等成型工序等

2. 冷冲压设备的选用

(1) 类型选择

冲压设备类型较多，其刚度、精度和用途各不相同，应根据冲压工艺的性质、生产批量、模具大小和工件精度等正确选用。一般生产批量较大的中小工件多选用操作方便、生产效率高的开式曲柄压力机。如生产洗衣桶这样的深拉深件，最好选用有拉深垫的拉深油压机。而生产汽车覆盖件最好选用工作台面宽大的闭式双动压力机。

(2) 规格选用

确定压力机的规格时应遵循如下原则：

① 压力机的公称压力必须大于冲压工序所需压力，当冲压工作行程较长时，还应注意在全部工作行程上，压力机许可压力曲线应高于冲压变形力曲线。

② 压力机滑块行程应满足工件在高度上能获得所需尺寸，并在冲压工序完成后能顺利从模具上取出来。对于拉深件，则行程应大于工件高度 2 倍以上。

③ 压力机的行程次数应符合生产率和材料变形速度的要求。

④ 压力机的闭合高度、工作台面尺寸、滑块尺寸和模柄孔尺寸等都应能满足模具的正确安装要求。对于曲柄压力机，如图 2-1 所示，模具的闭合高度与压力机的闭合高度之间要符合以下关系：

$$H_{max}-5\ \text{mm}\geqslant H_{模}+H_1\geqslant H_{min}+10\ \text{mm} \tag{2-1}$$

式中：$H_{模}$——模具的闭合高度，mm；

H_{max}——压力机的最大闭合高度，mm；

H_{min}——压力机的最小闭合高度，mm；

H_1—— 压力机的垫板厚度，mm。

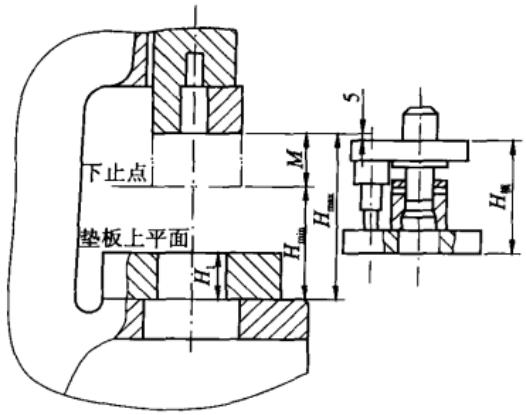


图 2-1　模具的闭合高度与压力机闭合高度关系

2.2　冲裁模设计

冲裁是利用模具使板料沿着一定的轮廓形状产生分离的一种冲压工序。冲裁工序的种类很多，常用的有切断、落料、冲孔、切口、剖切和修边等。但一般来说，冲裁主要是指落料和冲孔。若使材料沿封闭曲线相互分离，封闭曲线以内的部分作为冲裁件时，称为落料；而封闭曲线以外的作为冲裁件时，称为冲孔。例如冲制平面垫圈，冲其外形的工序称落料，冲其内孔的工序称冲孔。

冲裁是冲压工序中最基本的工序之一，其应用非常广泛，既可直接冲制成品零件，又可为其他成形工序制备坯料。

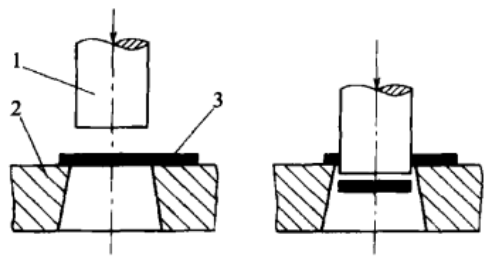
根据变形机理不同，冲裁可分为普通冲裁和精密冲裁。这里主要介绍普通冲裁。

冲裁所使用的模具称为冲裁模，如落料模、冲孔模、切边模和冲切模等。

2.2.1　冲裁工艺及设计计算

1. 冲裁过程分析

图 2-2 所示为普通冲裁示意图，凸模 1 与凹模 2 具有与冲裁件轮廓相同的锋利刃口且相互之间保持均匀合适的间隙。冲裁时，板料 3 置于凹模上方，当凸模随压力机滑块向下运动时，冲穿板料进入凹模，使冲裁件与板料分离，从而完成冲裁工作。从凸模接触板料到板料相互分离是在瞬间完成的。冲裁变形过程大致可分为 3 个变形阶段。



1—凸模；2—凹模；3—板料

图 2-2　普通冲裁示意图

(1) 弹性变形阶段

如图 2-3(a)所示，当凸模接触板料并下压时，在凸、凹模压力作用下，板料开始产生弹性压缩、拉伸、弯曲等复杂变形。这时，凸模略微挤入板料上部，板料下部也略微挤入凹模洞口，并在凸、凹模刃口接触处形成很小的圆角。同时板料稍有弯弯，材料越硬，凸、凹模刃口间隙越

大，弯弯越严重。随着凸模的下压刃口附近板料所受的应力逐渐增大，直至到达弹性极限，弹性变形阶段结束。

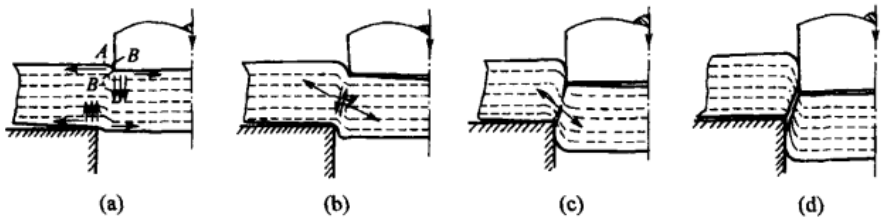


图 2-3　冲裁变形过程

(2) 塑性变形阶段

当凸模继续下压，使板料变形区的应力达到塑性变形条件时，开始进入塑性变形阶段，如图 2-3(b)所示。这时，凸模挤入板料和板料挤入凹模的深度逐渐增大，产生塑性剪切变形，形成光亮的剪切断面。随着凸模的下降，塑性变形程度增加，变形区材料硬化程度加剧，变形抗力不断上升，冲裁力也相应增大，直到刃口附近的应力达到抗拉强度时，塑性变形阶段结束。由于凸、凹模间隙的存在，此阶段中冲裁变形区还伴随着弯曲和拉伸变形，且间隙越大，弯曲和拉伸变形也越大。

(3) 断裂分离阶段

当板料内的应力达到抗拉强度后，凸模再向下压时，则在板料上与凸模、凹模刃口接触的部位先后形成裂纹，如图 2-3(c)所示。裂纹的起点一般在距刃口很近的侧面，且一般先在凹模刃口附近的侧面产生，然后才在凸模刃口附近的侧面产生。随着凸模的继续下行，已产生的上、下裂纹将沿最大剪应力方向不断向板料内部扩展，当上、下裂纹重合时，板料被剪断分离，如图 2-3(d)所示。随后，凸模将分离的材料推入凹模洞口。至此，冲裁变形过程结束。

2. 冲裁件的工艺性

冲裁件的工艺性是指冲裁件对冲裁工艺的适应性，即冲裁加工的难易程度。良好的冲裁工艺性是指在满足冲裁件使用要求的前提下，能以最简单、最经济的冲裁方式加工出来。因此，在编制冲压工艺规程和设计模具之前，应对冲裁件的形状、尺寸和精度等方面进行分析。从工艺角度分析冲裁件设计得是否合理，是否符合冲裁的工艺要求。

(1) 冲裁件的结构工艺性

① 冲裁件的形状应力求简单、规则，有利于材料的合理利用，以便节约材料，减少工序数目，提高模具寿命，降低冲裁件成本。

② 冲裁件的内、外形转角处要尽量避免尖角，应以圆弧过渡，以便于模具加工，减少热处理开裂，减少冲裁时尖角处的崩刃和过快磨损。冲裁件的最小圆角半径可参照表 2-4 选取。

③ 尽量避免冲裁件上过于窄长的悬臂和凹槽，否则会降低模具寿命和冲裁件质量，如图 2-4所示。一般情况下，悬臂和凹槽的宽度 $B \geqslant 1.5t$（t 为料厚，当料厚 $t<1$ mm 时，按 $t=1$ mm 时计算）；当冲裁件材料为黄铜、铝、低碳钢时，$B \geqslant 1.5t$；当冲裁件材料为高碳钢时，$B \geqslant 2t$。悬臂和凹槽的深度 $L \leqslant 5B$。

表 2-4　冲裁件最小圆角半径

工　序	圆弧角度 α	最小圆角半径			
		黄铜、铝	低碳钢	合金钢	备　注
落料	$\alpha \geqslant 90°$	$0.18t$	$0.25t$	$0.35t$	$\geqslant 0.25$
	$\alpha < 90°$	$0.35t$	$0.50t$	$0.70t$	$\geqslant 0.50$
冲孔	$\alpha \leqslant 90°$	$0.20t$	$0.30t$	$0.45t$	$\geqslant 0.30$
	$\alpha < 90°$	$0.40t$	$0.60t$	$0.90t$	$\geqslant 0.60$

注：t 为料厚。

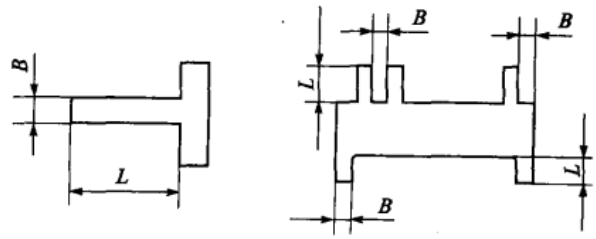


图 2-4　冲裁件的悬臂与凹槽

④ 冲孔时，因受凸模强度的限制，孔的尺寸不应太小。冲孔的最小尺寸取决于材料凸模强度和模具结构等。

⑤ 冲裁件的孔与孔之间、孔与边缘之间的距离，受模具强度和冲裁件质量的制约，其值不应过小，一般要求 $c \geqslant (1 \sim 1.5)t$，$c' \geqslant (1.5 \sim 2)t$，如图 2-5(a)所示。在弯曲件或拉深件上冲孔时，为避免冲孔时凸模受水平推力而折断，孔边与直壁之间应保持一定的距离，一般要求 $L \geqslant R + 0.5t$，如图 2-5(b)所示。

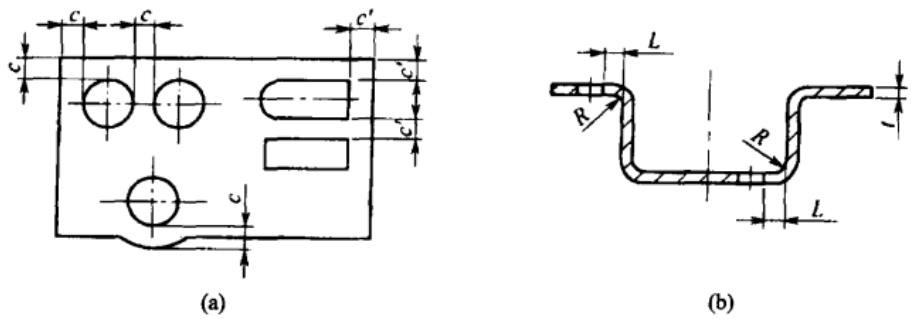


图 2-5　冲裁件上的孔距以及孔边距

(2) 冲裁件的精度和断面质量

① 冲裁件的精度　冲裁件的经济公差等级不高于 IT11 级，一般要求落料件公差等级最好低于 IT10 级，冲孔件最好低于 IT9 级。此外，冲裁件的尺寸公差标注及基准的选择应尽可能与模具设计基准一致，以减小误差。

② 冲裁件的断面质量　冲裁件的断面粗糙度及毛刺高度与材料塑性、材料厚度、冲裁间隙、刃口锋利程度、冲裁模结构及凸、凹模工作部分表面粗糙度等因素有关。用普通冲裁方式

冲裁厚度为 2 mm 以下的金属板料时，其断面粗糙度 R_a 一般可达到 12.5～3.2 μm，毛刺的允许高度见表 2－5。

表 2－5　普通冲裁毛刺的允许高度　　mm

料厚 t	≤0.3	>0.3～0.5	>0.5～1.0	>1.0～1.5	>1.5～2.0
试模时	≤0.015	≤0.02	≤0.03	≤0.04	≤0.05
生产时	≤0.05	≤0.08	≤0.10	≤0.13	≤0.15

3. 冲裁件的质量

(1) 冲裁件的质量

冲裁件的质量是指冲裁件的断面质量、尺寸精度和形状误差。冲裁件的断面应尽可能垂直、光滑、毛刺小；尺寸精度应保证在图纸规定的公差范围以内；冲裁件外形应符合图纸要求，表面应尽可能平直。

1) 冲裁件的断面质量

冲裁件断面呈明显的 4 个特征区，即塌角带、光亮带、断裂带和毛刺，如图 2－6 所示。

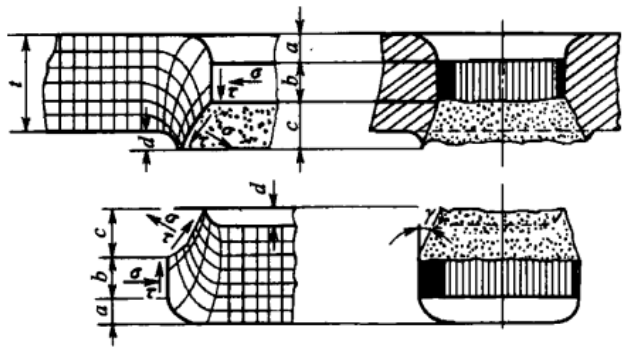


图 2－6　冲裁件的断面质量

① 塌角带 a　该区域的形成主要是当凸模刃口刚压入板料时，刃口附近的材料产生弯曲和伸长变形，材料被带进模具间隙的结果。

② 光亮带 b　该区域发生在塑性变形阶段，当刃口切入金属板料后，板料与模具侧面挤压而形成的光亮垂直的断面。正常情况约占全断面的 1/2～1/3。

③ 断裂带 c　该区域是在断裂阶段形成的，是由于刃口处产生的微裂纹在拉应力的作用下不断扩展而形成的撕裂面，其断面粗糙，具有金属本色，且带有斜度。因断裂带都是向材料内倾斜，所以对一般应用的冲裁件并不影响其使用性。

④ 毛刺 d　毛刺的形成是由于在塑性变形阶段后期，凸模和凹模的刃口切入被加工的板料一定深度时，刃口正面材料被压缩，微裂纹的起点不会在刃尖处发生，而是在刃口侧面距刃尖不远的地方发生。普通冲裁中毛刺是不可避免的，但间隙合适时，毛刺的高度较小，易去除。毛刺影响冲裁件的外观和使用性能，因此希望毛刺越小越好。

2) 冲裁件的尺寸精度

冲裁件的尺寸精度是指冲裁件的实际尺寸与公称尺寸之差。差值越小，精度就越高。该

差值包括冲裁件相对于凸模或凹模尺寸的偏差和模具本身的制造偏差两方面。

3）冲裁件形状误差

冲裁件形状误差是指翘曲、扭曲和变形等缺陷。

（2）冲裁件质量的影响因素

冲裁件质量影响因素主要有以下几个方面：

1）材料的性能对冲裁件质量的影响

对于塑性较好的材料，冲裁时裂纹出现得较迟，因而材料被剪切挤压的深度较大。所得到的断面光亮带所占比例大，断裂带较小，但圆角和毛刺也较大；而塑性差的材料，当剪切开始不久，材料便被拉裂，使断面光亮带所占比例小，断裂带较大，但圆角和毛刺都较小。

对于比较软的材料，弹性变形量较小，冲裁后的弹性恢复也较小，因而冲裁件的精度较高；硬的材料则相反。

2）冲裁间隙对冲裁件质量的影响

冲裁间隙是影响冲裁件断面质量的主要因素。当间隙合适时，上、下刃口处产生的剪切裂纹基本重合，这时光亮带约占板厚的 1/2～1/3，圆角、毛刺和断裂带斜角均较小，断面质量较好，如图 2－7(a)所示。

当间隙过小时，上、下裂纹延伸后互不重合。两裂纹之间的材料，随着冲裁的进行将被第二次剪切，在断面上形成第二光亮带，该光亮带中部有残留的断裂带。小间隙会使应力状态中的拉应力成分减小，挤压作用增大，使材料塑性得到充分发挥，裂纹的产生受到抑制而推迟。所以，断面光亮带宽度增加，圆角、毛刺、斜度、翘曲和穹弯等弊病都有所减小，断面质量较好，但断面的质量也有缺陷，如中部的夹层等。毛刺比合理间隙时稍高，但易去除，如图 2－7(b)所示。

当间隙过大时，上、下裂纹也不重合。因变形材料应力状态中的拉应力成分增大，材料的弯曲和拉伸也增大，材料容易产生微裂纹，使塑性变形较早结束。所以，断面光亮带减小，毛面、圆角带增大，毛刺和斜度较大，穹弯、翘曲现象显著，冲裁件质量下降，并且拉裂产生的斜度增大，断面质量不理想，如图 2－7(c)所示。

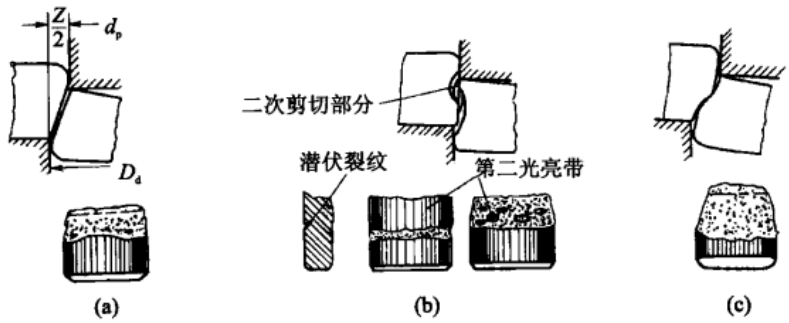


图 2－7　间隙大小对冲裁件断面质量的影响

另外，当模具间隙不均匀时，在凸、凹模之间可能同时存在着间隙合适、间隙过小和间隙过大几种情况，因此会出现在冲裁件断面上同时分布着上述各种情况的断面。

冲裁间隙对冲裁件尺寸精度有很大影响。图 2－8(a)(b)分别表示冲孔模和落料模的凸、凹模间隙 Z 对冲裁件尺寸精度(δ 为冲裁件相对于模具的尺寸偏差)影响的一般规律。

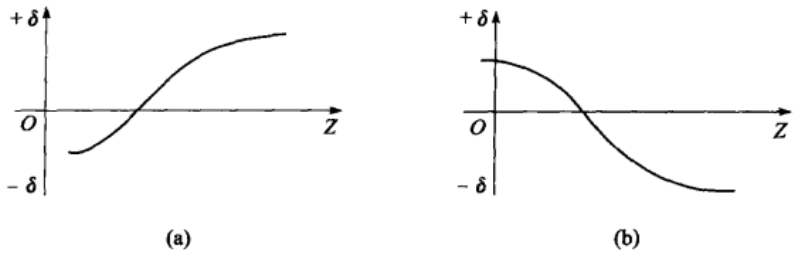


图 2－8　间隙对冲裁件尺寸精度的影响

3) 模具刃口状态、结构及制造精度对冲裁件质量的影响

模具刃口状态对冲裁件的断面质量也有较大影响。当模具刃口磨钝后，挤压作用增大，则冲裁件圆角和光亮带增大。对于钝的刃口，即使间隙选择合理，在冲裁件上将产生较大的毛刺。实践表明：凹模磨钝时，冲孔件的孔口下端产生明显毛刺，如图 2－9(a)所示；凸模磨钝时，在落料件上端产生明显毛刺，如图 2－9(b)所示；当凸、凹模刃口均磨钝时，则会在冲裁件上端和孔口下端都产生毛刺，如图 2－9(c)所示。

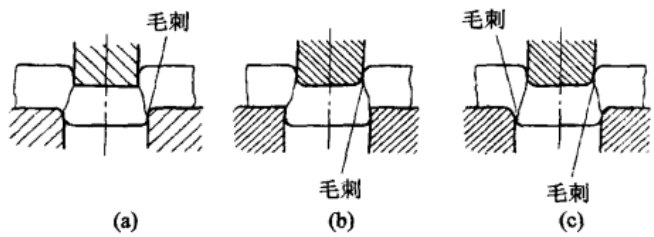


图 2－9　凸、凹模刃口磨钝后毛刺的形成

4) 冲裁模的制造精度对冲裁件的影响

冲裁模主要是凸、凹模的制造精度，对冲裁件尺寸精度有直接的影响。冲裁模的制造精度越高，冲裁件的精度就越高。

此外，采用压料板和顶板等结构形式的模具，合理选择搭边，注意润滑等也可提高冲裁件质量。

4. 冲裁间隙

冲裁间隙是指冲裁模的凸、凹模刃口横向尺寸之差。双面间隙用 Z 表示，单面间隙用 $Z/2$ 表示。其值可为正，也可为负。如无特殊说明，冲裁间隙都是指双面间隙，如图 2－10 所示，即

$$Z = D_{凹} - d_{凸} \qquad (2-2)$$

式中：$D_{凹}$——凹模刃口尺寸；

$d_{凸}$——凸模刃口尺寸。

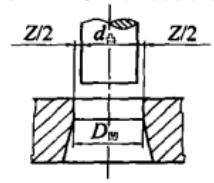


图 2－10　冲裁间隙

(1) 冲裁间隙的影响

冲裁间隙对冲裁过程有很大的影响。在前述中已经分析了间隙对冲裁件质量起决定性作用。除此以外，间隙对冲压力和模具寿命也有较大的影响。

1) 间隙对冲压力的影响

间隙很小时，因材料的挤压和摩擦作用增强，冲裁力必然较大。随着间隙的增大，材料所受的拉应力增大，容易断裂分离，因此冲裁力减小。但试验表明，当单面间隙介于材料厚度的5%～20%范围内时，冲裁力降低不多，不超过 5%。因此，在正常情况下，间隙对冲裁力的影响不很大。

间隙对卸料力、顶件力、推件力的影响比较显著。由于间隙的增大，使冲裁件的光亮带变窄，材料弹性回复使落料件尺寸小于凹模尺寸，冲孔件尺寸大于凸模尺寸，因而使卸料力、推件力或顶件力随之减小。一般当单面间隙增大到材料厚度的 15%～25%时，卸料力几乎降为零。

2) 间隙对模具寿命的影响

模具寿命通常是用模具失效前所冲得的合格冲裁件数量来表示。冲裁模的失效形式一般有磨损、变形、崩刃和凹模胀裂。间隙大小主要对模具的磨损及凹模的胀裂产生较大影响。在冲裁过程中，由于材料的弯曲变形，材料对模具的反作用力主要集中在凸、凹模刃口部分。如果间隙小，则垂直冲裁力和侧向挤压力将增大，摩擦力也增大，同时光亮带变宽，摩擦距离增长，摩擦发热严重，所以小间隙将使凸、凹模刃口磨损加剧，甚至使模具与材料之间产生动结现象，严重的还会产生崩刃。另外，小间隙因落料件堵塞在凹模洞口的胀力也大，容易产生凹模胀裂；还易产生小凸模折断，凸、凹模相互啃刃等异常现象。

凸、凹模磨损后，其刃口处形成圆角，冲裁件上就会出现不正常的毛刺，且因刃口尺寸发生变化，冲裁件的尺寸精度也降低，模具寿命减小。因此，为了减少模具的磨损，延长模具使用寿命，在保证冲裁件质量的前提下，应适当选用较大的间隙值。若采用小间隙，就必须提高模具的硬度和精度，减小模具表面粗糙度值，提供良好润滑，以减小磨损。

(2) 冲裁间隙值的确定

由上述分析可以看出，冲裁间隙对冲裁件质量、冲压力和模具寿命等都有很大的影响，但影响的规律各有不同。因此，并不存在一个绝对合理的间隙值，能同时满足冲裁件断面质量最佳、尺寸精度最高、冲裁模寿命最长、冲压力最小等各方面的要求。在冲压实际生产中，为了获得合格的冲裁件、较小的冲压力和保证模具有一定的寿命，通常给间隙值规定一个范围，这个间隙值范围就称为合理间隙，这个范围的最小值称为最小合理间隙(Z_{min})，最大值称为最大合理间隙(Z_{max})。考虑到冲裁模在使用过程中会逐渐磨损，间隙会增大，故在设计和制造新模具时，应采用最小合理间隙。

确定合理间隙的方法有理论确定法和经验确定法两种。但在实际工作中主要采用比较简单的经验法来确定合理间隙的数值。

经验确定法是根据经验数据来确定间隙值。有关间隙值的数值，可在一般冲压手册中查到。选用时结合冲裁件的质量要求和实际生产条件考虑。常用材料的冲裁模初始双面间隙见表 2-6 和表 2-7。

表 2-6 冲裁模初始双面间隙 Z mm

材料厚度 t/mm	软 铝		纯铜、黄铜、软钢 $\omega_c=0.08\%\sim0.2\%$		杜拉铝、中等硬钢 $\omega_c=0.3\%\sim0.4\%$		硬 钢 $\omega_c=0.5\%\sim0.6\%$	
	Z_{min}	Z_{max}	Z_{min}	Z_{max}	Z_{min}	Z_{max}	Z_{min}	Z_{max}
0.2	0.008	0.012	0.010	0.014	0.012	0.016	0.014	0.018
0.3	0.012	0.018	0.015	0.021	0.018	0.024	0.021	0.027
0.4	0.016	0.024	0.020	0.028	0.024	0.032	0.028	0.036
0.5	0.020	0.030	0.025	0.035	0.030	0.040	0.035	0.045
0.6	0.024	0.036	0.030	0.042	0.036	0.048	0.042	0.054
0.7	0.028	0.042	0.035	0.049	0.042	0.056	0.049	0.063
0.8	0.032	0.048	0.040	0.056	0.048	0.064	0.056	0.072
0.9	0.036	0.054	0.045	0.063	0.054	0.072	0.063	0.081
1.0	0.040	0.060	0.050	0.070	0.060	0.080	0.070	0.090
1.2	0.050	0.084	0.072	0.096	0.084	0.108	0.096	0.120
1.5	0.075	0.105	0.090	0.120	0.105	0.135	0.120	0.150
1.8	0.090	0.126	0.108	0.144	0.126	0.162	0.144	0.180
2.0	0.100	0.140	0.120	0.160	0.140	0.180	0.160	0.200
2.2	0.132	0.176	0.154	0.198	0.176	0.220	0.198	0.242
2.5	0.150	0.200	0.175	0.225	0.200	0.250	0.225	0.275
2.8	0.168	0.224	0.196	0.252	0.224	0.280	0.252	0.308
3.0	0.180	0.240	0.210	0.270	0.240	0.300	0.270	0.330
3.5	0.245	0.315	0.280	0.350	0.315	0.385	0.350	0.420
4.0	0.280	0.360	0.320	0.400	0.360	0.440	0.400	0.480
4.5	0.315	0.405	0.360	0.450	0.405	0.490	0.450	0.540
5.0	0.350	0.450	0.400	0.500	0.450	0.550	0.500	0.600
6.0	0.480	0.600	0.540	0.660	0.600	0.720	0.660	0.780
7.0	0.560	0.700	0.630	0.770	0.700	0.840	0.770	0.910
8.0	0.720	0.880	0.800	0.960	0.880	1.104	0.960	1.120
9.0	0.870	0.990	0.900	1.080	0.990	1.170	1.080	1.260
10.0	0.900	1.100	1.000	1.200	1.100	1.300	1.200	1.400

注：1 初始间隙的最小值相当于间隙的公称数值；

2 初始间隙的最大值是考虑到凸模和凹模的制造公差所增加的数值；

3 在使用过程中，由于模具工作部分的磨损，间隙将有所增加，因而间隙使用的最大值要超过表列数值；

4 本表适用于尺寸精度和断面质量要求较高的冲裁件。

5. 排 样

排样是指冲裁件在条料、带料或板料上的布置方法。排样是否合理，将直接影响到材料利用率、冲裁件质量、生产效率及冲裁模结构与寿命等。因此，排样是冲压工艺中一项重要的、技术性很强的工作。

(1) 排样方法

根据材料的利用情况，排样方法可分为有废料排样、少废料排样和无废料排样 3 种。

表 2-7　冲裁模初始双面间隙 Z　　mm

材料厚度 t/mm	08,10,35 09Mn,Q235		16Mn		40,50		65Mn	
	Z_{min}	Z_{max}	Z_{min}	Z_{max}	Z_{min}	Z_{max}	Z_{min}	Z_{max}
小于 0.5	极小间隙							
0.5	0.040	0.060	0.040	0.060	0.040	0.060	0.040	0.060
0.6	0.048	0.072	0.048	0.072	0.048	0.072	0.048	0.072
0.7	0.064	0.092	0.064	0.092	0.064	0.092	0.064	0.092
0.8	0.072	0.104	0.072	0.104	0.072	0.104	0.064	0.092
0.9	0.090	0.126	0.090	0.126	0.090	0.126	0.090	0.126
1.0	0.100	0.140	0.100	0.140	0.100	0.140	0.090	0.126
1.2	0.126	0.180	0.132	0.180	0.132	0.180		
1.5	0.132	0.240	0.170	0.240	0.170	0.240		
1.75	0.220	0.320	0.220	0.320	0.220	0.320		
2.0	0.246	0.360	0.260	0.380	0.260	0.380		
2.1	0.260	0.380	0.280	0.400	0.280	0.400		
2.5	0.360	0.500	0.380	0.540	0.380	0.540		
2.75	0.400	0.560	0.420	0.600	0.420	0.600		
3.0	0.460	0.640	0.480	0.660	0.480	0.660		
3.5	0.540	0.740	0.580	0.780	0.580	0.780		
4.0	0.640	0.880	0.680	0.920	0.680	0.920		
4.5	0.720	1.000	0.680	0.960	0.780	1.040		
5.5	0.940	1.280	0.780	1.100	0.980	1.320		
6.0	1.080	1.440	0.840	1.200	1.140	1.500		
6.5			0.940	1.300				
8.0			1.200	1.680				

注：1 冲裁皮革、石棉和纸板时，间隙取 08 钢的 25%；

2 本表适用于尺寸精度和断面质量要求不高的冲裁件。

1）有废料排样

如图 2-11(a)所示，沿冲裁件的全部外形冲裁，在冲裁件周边都留有搭边(a,a_1)。有废料排样时，冲裁件尺寸完全由冲裁模保证，因此冲裁件质量好，模具寿命高，但材料利用率低，常用于冲裁形状较复杂、尺寸精度要求较高的冲裁件。

2）少废料排样

如图 2-11(b)所示，沿冲裁件的部分外形切断或冲裁，而在冲裁件之间或冲裁件与条料边缘之间留有搭边。这种排样方法因受剪裁条料质量和定位误差的影响，其冲裁件质量稍差，同时边缘毛刺易被凸模带入间隙，也影响冲裁模寿命，但材料利用率较高，冲裁模结构简单，一般用于形状较规则、某些尺寸精度要求不高的冲裁件。

3）无废料排样

如图 2-11(c)(d)所示，沿直线或曲线切断条料而获得冲裁件，无任何搭边废料。无废料排样的冲裁件质量和模具寿命更差一些，但材料利用率最高，且当步距为 2 倍冲裁件宽度时，如图 2-11(c)所示，一次切断能获得 2 个冲裁件，有利于提高生产效率，可用于形状规则对称、

尺寸精度不高或贵重金属材料的冲裁件。

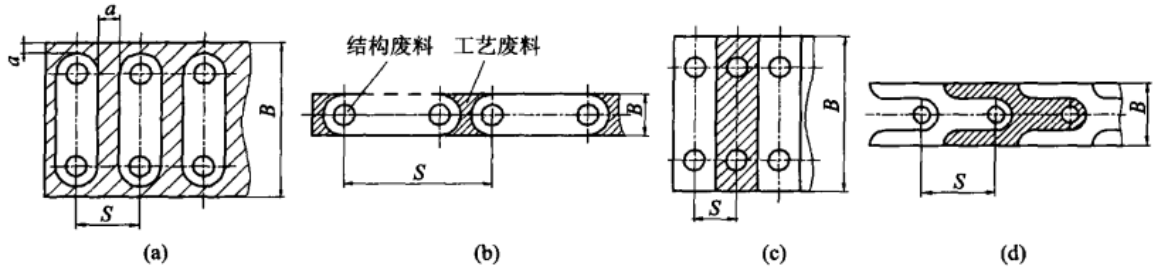


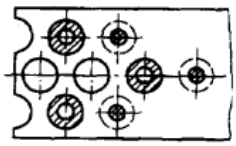
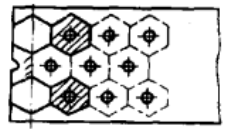
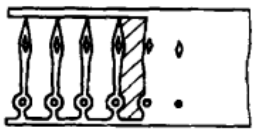
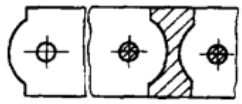
图 2-11　排样方法

上述 3 种排样方法，根据冲裁件在条料上的不同排列形式，又可分为直排、斜排、直对排、斜对排、混合排、多排及冲裁搭边等 7 种，见表 2-8。

表 2-8　排样形式分类

排样方式	有废料排样		少、无废料排样	
	简　图	应　用	简　图	应　用
直排		用于简单集合形状（方形、矩形、圆形）的冲裁件		用于矩形或方形冲裁件
斜排		用于 T 形、L 形、S 形、十字形、椭圆形冲裁件		用于 L 形或其他形状的冲裁件，在外形上允许有不大的缺陷
直对排		用于 T 形、Ⅱ形、山形、梯形、三角形、半圆形的冲裁件		用于 T 形冲裁件、山形、Ⅱ形、梯形、三角形冲裁件，在外形上允许有不大的缺陷
斜对排		用于材料利用率比直对排时高的情况		多用于 T 形冲裁件
混合排		用于材料及厚度都相同的冲裁件		用于两个外形互相嵌入的不同冲裁件（铰链等）

续表 2-8

排样方式	有废料排样		少、无废料排样	
	简　图	应　用	简　图	应　用
多排		用于大批量生产中尺寸不大的圆形、六角形、方形、矩形冲裁件		用于大批量生产中尺寸不大的方形、矩形、及六角形冲裁件
冲裁搭边		用于大批量生产中小而窄的冲裁件(表针及类似冲裁件)或带料的连续拉深		用于以宽度均匀的条料或带料冲制长形件

在实际确定排样时，通常可先根据冲裁的形状和尺寸列出几种可能的排样方案(形状复杂的冲裁件可以用纸片剪成 3～5 个样件，再用样件摆出各种不同的排样方案)，然后再综合考虑冲裁件的精度、批量、经济性、模具结构与寿命、生产率、操作与安全及原材料供应等各方面因素，最后选出最合理的排样方法。

(2) 材料的利用率

合理利用材料，提高材料的利用率，是排样设计主要考虑的因素之一。

冲裁件的实际面积与所用板料面积的百分比称为材料利用率，它是衡量材料合理利用的一项重要经济指标。

如图 2-11 所示，一个步距内的材料利用率 η 为

$$\eta = \frac{A}{BS} \times 100\% \tag{2-3}$$

式中：A——一个步距内冲裁件的实际面积，mm^2；

B——条料宽度，mm；

S——步距(冲裁时条料在模具上每次送进的距离，其值为两个对应冲裁件间相互对应的间距)，mm。

一张板料(或条料、带料)上总的材料利用率 η_0 为

$$\eta_0 = \frac{nA_1}{BL} \times 100\% \tag{2-4}$$

式中：n—— 一张板料(或条料、带料)上冲裁件的总数目；

A_1——一个冲裁件的实际面积，mm^2；

L——板料(或条料、带料)的长度，mm；

B—— 板料(或条料、带料)的宽度，mm。

(3) 搭边与条料宽度的确定

1) 搭　边

搭边是指排样时冲裁件之间以及冲裁件与条料边缘之间留下的工艺废料。搭边虽然是废料，但在冲裁工艺中却有很大的作用：补偿定位误差和送料误差，保证冲裁出合格的零件；增

加条料刚度，方便条料送进，提高生产效率；避免冲裁时条料边缘的毛刺被拉入模具间隙，提高模具寿命。

搭边值的大小要合理。搭边值过大时，材料利用率低；搭边值过小时，达不到在冲裁工艺中的作用。在实际确定搭边值时，主要考虑以下因素：

① 材料的力学性能。软材料、脆材料的搭边值取大一些；硬材料的搭边值可取小一些。

② 冲裁件的形状与尺寸。冲裁件的形状复杂或尺寸较大时，搭边值取大些。

③ 材料的厚度。厚材料的搭边值要取大些。

④ 送料及挡料方式。用手工送料，且有侧压装置的搭边值可以小些，用侧刃定距可以比用挡料销定距的搭边值小一些。

⑤ 卸料方式。弹性卸料比刚性卸料的搭边值要小一些。

搭边值一般由经验确定，表 2－9 为搭边值的经验数据表之一，供设计时参考。

表 2－9　最小搭边值　　mm

材料厚度 t	圆件及 $r>2t$ 的圆角		矩形件边长 $l<50$		矩形件边长 $l>50$ 或圆角 $r<2t$	
	工件间 a	侧面 a_1	工件间 a	侧面 a_1	工件间 a	侧面 a_1
0.25 以下	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0
0.25～0.5	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5
0.5～0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	1.8	2.0
0.8～1.2	0.8	1.0	1.2	1.5	1.5	1.8
1.2～1.5	1.0	1.2	1.5	1.8	1.8	2.0
1.6～2.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.0	2.2
2.0～2.5	1.5	1.8	2.0	2.2	2.2	2.5
2.5～3.0	1.8	2.2	2.2	2.5	2.5	2.8
3.0～3.6	2.2	2.5	2.5	2.8	2.8	3.2
3.5～4.0	2.5	2.8	2.8	3.2	3.2	3.5
4.5～5.0	3.0	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5
5.0～12	0.6t	0.7t	0.7t	0.8t	0.8t	0.9t

注：表中所列搭边值适用于低碳钢，对于其他材料，应将表中数值乘以下系数：中等硬度钢 0.9；软黄铜、纯铜 1.2；硬钢 0.8；铝 1.3～1.4；硬铝 1～1.2；硬黄铜 1～1.1；非金属 1.5～2。

2）条料宽度与导料板间距

在排样方式与搭边值确定之后，就可以确定条料的宽度，进而可以确定导料板间距。条料的宽度要保证冲裁时冲裁件周边有足够的搭边值，导料板间距应使条料能在冲裁时顺利地在导料板之间送进，并与条料之间有一定的间隙。因此，条料宽度与导料板间距与冲裁模的送料

定位方式有关，应根据不同结构分别进行计算。

① 用导料板导向且有侧压装置时，见图 2－12(a)。在这种情况下，条料是在侧压装置作用下紧靠导料板的一侧送进的，故按下列公式计算：

条料宽度

$$B_{-\Delta}^{0} = (D + 2a)_{-\Delta}^{0} \tag{2-5}$$

导料板间距离

$$B_0 = B + Z_1 = D + 2a + Z_1 \tag{2-6}$$

式中：D——条料宽度方向的基本尺寸；

a——侧搭边值，可参考表 2－9；

Δ——条料宽度偏差，见表 2－10；

Z_1——导料板与条料之间的间隙，其值见表 2－11。

此种情况也适合于用导料销导向的冲裁模，这时条料由人工靠紧导料销一侧送进。

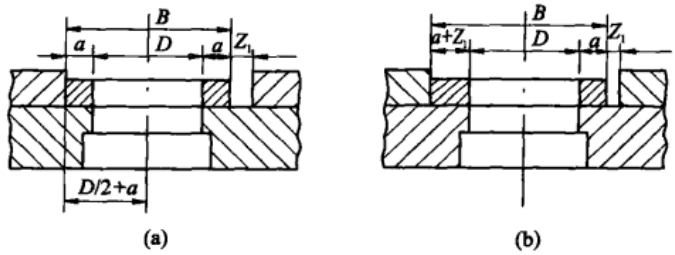


图 2－12　条料宽度的确定

表 2－10　条料宽度偏差 Δ　　mm

条料宽度 B	材料厚度 t				
	～0.5	0.5～1	1～2	2～3	2～5
～20	0.05	0.08	0.10		
20～30	0.08	0.10	0.15		
30～50	0.10	0.15	0.20		
～50		0.4	0.5	0.7	0.9
50～100		0.5	0.6	0.8	1.0
100～150		0.6	0.7	0.9	1.1
150～220		0.7	0.8	1.0	1.2
220～300		0.8	0.9	1.1	1.3

表 2－11　导料板与条料之间的间隙 Z_1　　mm

材料厚度 t	无侧压装置			有侧压装置	
	条料宽度 B			条料宽度 B	
	≤100	100～200	200～300	≤100	>100
约 1	0.5	0.5	1	5	8
1～5	0.5	1	1	5	8

② 用导料板导向且无侧压装置时，见图 2－12(b)。无侧压装置时，应考虑在送料过程中

因条料在导料板之间摆动而使侧面搭边值减小的情况，为了补偿侧面搭边的减小，条料宽度应增加一个条料可能的摆动量(其值为条料与导料板之间的间隙 Z_1)，故按下列公式计算：

条料宽度

$$B_{-\Delta}^{0} = (D + 2a + Z_1)_{-\Delta}^{0} \tag{2-7}$$

导料板间距离

$$B_0 = B + Z = D + 2a + 2Z_1 \tag{2-8}$$

(4) 排样图

排样图是排样设计最终的表达形式，通常应绘制在冲压工艺规程的相应卡片上和冲裁模总装图的右上角。排样图的内容应反映出排样方法、冲裁件的冲裁方式、用侧刃定距时侧刃的形状与位置及材料利用率等。

绘制排样图时应注意以下几点：

① 排样图上应标注条料宽度 $B_{-\Delta}^{0}$、条料长度 L、板料厚度 t、端距 l、步距 S、冲裁件间搭边 a_1 和侧搭边 a 值、侧刃定距时侧刃的位置及截面尺寸等，如图 2-13 所示。

② 用剖面线表示出冲裁工位上的工序件形状(即凸模或凹模的截面形状)，以便能从排样图上看出是单工序冲裁(见图 2-13(a))、复合冲裁(见图 2-13(b))，还是级进冲裁(见图 2-13(c))。

③ 采用斜排时，应注明倾斜角度的大小。必要时，还可用双点画线画出送料时定位元件的位置。对有纤维方向要求的排样图，应用箭头表示条料的纹路方向。

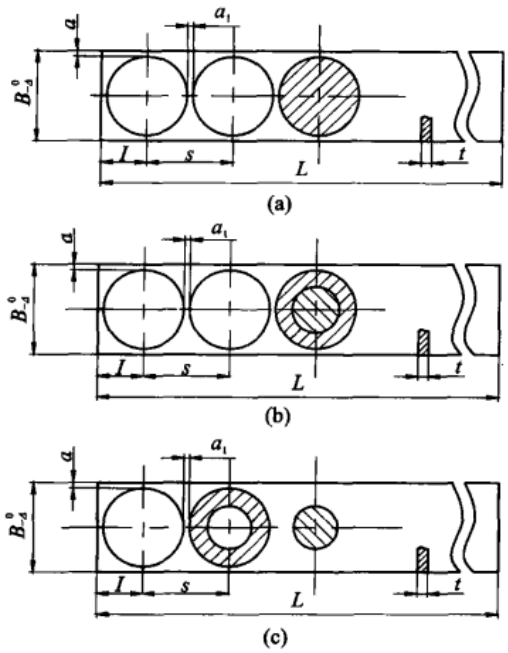


图 2-13 排样图画法

6. 凸模与凹模刃口尺寸的确定

凸、凹模的刃口尺寸和公差，直接影响冲裁件的尺寸精度。模具的合理间隙也靠凸、凹模刃口尺寸及公差来保证。因此，正确确定凸、凹模刃口尺寸和公差，是冲裁模设计的一项重要工作。其计算方法与凸、凹模的加工方法有关，基本上可分为两类。

(1) 凸、凹模分开加工

这种方法要求分别计算出凸模和凹模的刃口尺寸及公差，并标注在凸、凹模设计图样上。其优点是凸、凹模具有互换性，便于成批制造。但受冲裁间隙的限制，要求凸、凹模的制造公差较小，主要适用于简单形状(圆形、方形或矩形)的冲裁件。

若落料件外形尺寸为 $D_{-\Delta}^{0}$，冲孔件内孔尺寸为 $d_{0}^{+\Delta}$，根据刃口尺寸计算原则，可得

落料

$$D_{凹} = (D_{max} - x\Delta)^{+\delta_{凹}}_{0} \tag{2-9}$$

$$D_{凸} = (D_{凹} - Z_{min})_{-\delta_{凸}}^{0} = (D_{max} - x\Delta - Z_{min})_{-\delta_{凸}}^{0} \tag{2-10}$$

冲孔

$$d_{凸} = (d_{min} + x\Delta)_{-\delta_{凸}}^{0} \tag{2-11}$$

$$d_{凹} = (d_{凸} + Z_{min})^{+\delta_{凹}}_{0} = (d_{min} + x\Delta + Z_{min})^{+\delta_{凹}}_{0} \tag{2-12}$$

式中：$D_{凹}$、$D_{凸}$——落料凹、凸模刃口尺寸，mm；

$d_{凸}$、$d_{凹}$——冲孔凸、凹模刃口尺寸，mm；

D_{max}——落料件的最大极限尺寸，mm；

d_{min}——冲孔件孔的最小极限尺寸，mm；

Δ——冲裁件的制造公差，mm；

Z_{min}——最小合理间隙，mm；

$\delta_{凸}$、$\delta_{凹}$——凸、凹模制造公差，mm，$\delta_{凸}$、$\delta_{凹}$可分别按 IT6 和 IT7 确定，也可查表 2-12 或取(1/4～1/5)Δ。

x——磨损系数，x 值在 0.5～1，可查表 2-13 或按下列关系选取：

冲裁件精度为 IT10 以上时，$x=1$；

冲裁件精度为 IT11～IT13 时，$x=0.75$；

冲裁件精度为 IT14 以下时，$x=0.5$。

表 2-12　规则形状(圆形、方形)件冲裁时凸、凹模的制造偏差　　mm

基本尺寸	凸模偏差 $\delta_{凸}$	凹模偏差 $\delta_{凹}$	基本尺寸	凸模偏差 $\delta_{凸}$	凹模偏差 $\delta_{凹}$
≤18	0.020	0.020	>180～260	0.030	0.045
>18～30	0.020	0.025	>260～360	0.035	0.050
>30～80	0.020	0.030	>360～500	0.040	0.060
>80～120	0.025	0.035	>500	0.050	0.070
>120～180	0.030	0.040			

表 2-13　磨损系数 x

材料厚度 t/mm	非圆形冲件			圆形冲件	
	1	0.75	0.5	0.75	0.5
	冲件公差 Δ/mm				
1	<0.16	0.17～0.35	≥0.36	<0.16	≥0.16
1～2	<0.20	0.21～0.41	≥0.42	<0.20	≥0.20
2～4	<0.24	0.25～0.49	≥0.50	<0.24	≥0.24
>4	<0.30	0.31～0.59	≥0.60	<0.30	≥0.30

根据上述计算公式，冲裁件与凸、凹模刃口尺寸及公差的分布状态如图 2－14 所示，其中图(a)表示落料，图(b)表示冲孔。

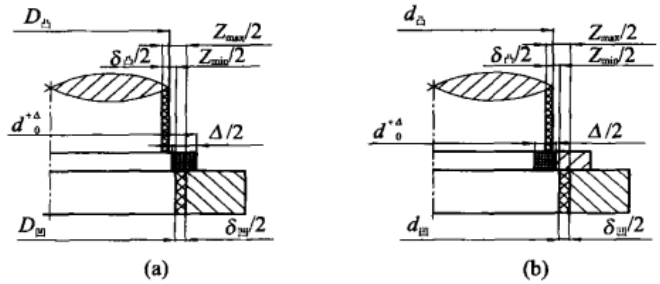


图 2－14　落料、冲孔时各部分尺寸及公差的分布状态

从图中还可以看出，无论是落料还是冲孔，为了保证间隙值，凸、凹模的制造公差必须满足下列条件：

$$\delta_{凸}+\delta_{凹}\leqslant Z_{max}-Z_{min} \tag{2-13}$$

如果出现 $\delta_{凸}+\delta_{凹}>Z_{max}-Z_{min}$ 情况，当大得不多时，可以适当调整 $\delta_{凸}$、$\delta_{凹}$ 值以满足上述条件，即可取 $\delta_{凸}=0.4(Z_{max}-Z_{min})$，$\delta_{凹}=0.6(Z_{max}-Z_{min})$；如果 $\delta_{凸}+\delta_{凹}\gg Z_{max}-Z_{min}$，则应采用凸、凹模配作方法。

当需在同一工步冲出两个以上孔时，因凹模磨损后孔距尺寸不变，故凹模型孔的中心距可按下式确定：

$$L_{凹}=(L_{min}+0.5\Delta)\pm 0.125\Delta \tag{2-14}$$

式中：$L_{凹}$——凹模型孔中心距，mm；

L_{min}——冲裁件孔心距的最小极限尺寸，mm。

例 2－1　冲裁图 2－15 所示垫圈，材料为 Q235 钢，料厚 $t=1$ mm，试计算凸、凹模刃口部分尺寸及公差。

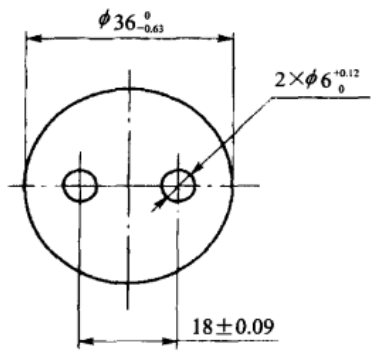


图 2－15　垫　圈

解　由图可知，该零件属无特殊要求的一般冲孔、落料件，$\phi 36_{-0.63}^{0}$ 由落料获得，$2-\phi 6_{0}^{+0.12}$ 与 18 ± 0.09 由冲孔同时获得。查表 2－10 得，$Z_{max}=0.14$ mm，$Z_{min}=0.10$ mm，则 $Z_{max}-Z_{min}=0.14$ mm-0.10 mm$=0.04$ mm

① 落料($\phi 36_{-0.63}^{0}$)

查表 2－12 和表 2－13 得，$\delta_{凹}=0.03$ mm，$\delta_{凸}=0.02$ mm，$x=0.5$。

校核间隙：因为 $\delta_{凸}+\delta_{凹}=0.02$ mm$+0.03$ mm$=0.05$ mm $>Z_{max}-Z_{min}=0.04$ mm，说明所取凸、凹模公差不能满足 $\delta_{凸}+\delta_{凹}\leqslant Z_{max}-Z_{min}$ 条件，但相差不大，此时可调整如下：

$$\delta_{凸}=0.4(Z_{max}-Z_{min})=0.4\times 0.04\text{ mm}=0.016\text{ mm}$$

$$\delta_{凹}=0.6(Z_{max}-Z_{min})=0.6\times 0.04\text{ mm}=0.024\text{ mm}$$

将已知和查表的数据代入公式，即得

$$D_{凹}=(D_{max}-x\Delta)_{0}^{+\delta_{凹}}=(36-0.5\times 0.63)_{0}^{+0.024}\text{ mm}=35.69_{0}^{+0.024}\text{ mm}$$

$$D_{凸}=(D_{凹}-Z_{min})_{-\delta_{凸}}^{0}=(35.69-0.10)_{-0.016}^{0}\text{ mm}=35.59_{-0.016}^{0}\text{ mm}$$

② 冲孔($\phi 6^{+0.12}_{0}$)

查表 2-12 和表 2-13 得：$\delta_{凹}=0.02$ mm，$\delta_{凸}=0.02$ mm，$x=0.75$。

校核间隙，因为

$$\delta_{凸}+\delta_{凹}=0.02\ \text{mm}+0.02\ \text{mm}=0.04\ \text{mm}=Z_{max}-Z_{min}$$

所以符合 $\delta_{凸}+\delta_{凹}\leqslant Z_{max}-Z_{min}$。

将已知和查表的数据代入公式，即得

$$d_{凸}=(d_{min}+x\Delta)^{0}_{-\delta_{凸}}=(6+0.75\times 0.12)^{0}_{-0.02}\ \text{mm}=6.09^{0}_{-0.02}\ \text{mm}$$

$$d_{凹}=(d_{凸}+Z_{min})^{+\delta_{凹}}_{0}=(6.09+0.10)^{+0.02}_{0}\ \text{mm}=6.19^{+0.02}_{0}\ \text{mm}$$

③ 孔中心距(18 ± 0.09)

$$L_{凹}=(L_{min}+0.5\Delta)\pm 0.125\Delta=$$

$$[(17.91+0.5\times 0.18)\pm 0.125\times 0.18]\ \text{mm}=(18\pm 0.023)\ \text{mm}$$

(2) 凸、凹模配作加工

凸、凹模配作加工是指先按图样设计尺寸加工好凸模或凹模中的一件作为基准件(一般落料时以凹模为基准件，冲孔时以凸模为基准件)，然后根据基准件的实际尺寸按间隙要求配作另一件。这种加工方法的特点是模具的间隙由配作保证，工艺比较简单，不必校核 $\delta_{凸}+\delta_{凹}\leqslant Z_{max}-Z_{min}$ 条件，并且还可以放大基准件的制造公差(一般可取冲裁件公差的 1/4)，使制造容易，因此是目前一般工厂通常采用的方法，特别适用于冲裁薄板件和复杂形状件的冲裁模加工。

采用凸、凹模配作法加工时，只需计算基准件的刃口尺寸及公差，并详细标注在设计图样上。而另一非基准件不需计算，且设计图样上只标注基本尺寸(与基准件基本尺寸对应一致)，不注公差，但要在技术要求中注明：凸(凹)模刃口尺寸按凹(凸)模实际刃口尺寸配作，保证双面间隙值为 $Z_{max}-Z_{min}$。

根据冲裁件的结构形状不同，刃口尺寸的计算方法如下：

1) 落　料

落料时以凹模为基准，配作凸模。图 2-16(a)为落料件图，图 2-16(b)为落料凹模刃口的轮廓图，图中虚线表示凹模磨损后尺寸的变化情况。

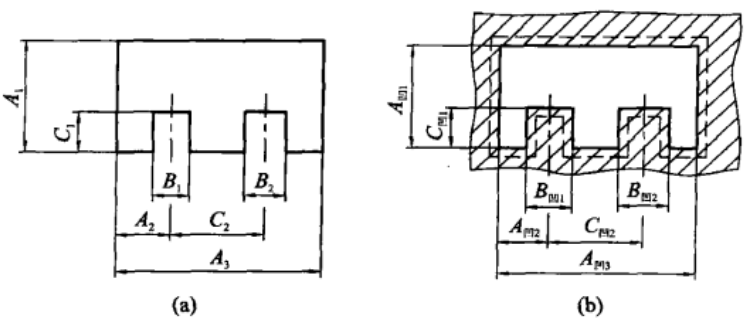


图 2-16　落料件与落料凹模

从图 2-16(b)可以看出，凹模磨损后刃口尺寸的变化有增大、减小和不变 3 种情况，故凹模刃口尺寸也应分 3 种情况进行计算：凹模磨损后变大的尺寸(如图中 A 类尺寸)，按一般落料凹模尺寸公式计算；凹模磨损后变小的尺寸(如图中 B 类尺寸)，因它在凹模上相当于冲孔

凸模尺寸，故按一般冲孔凸模尺寸公式计算；凹模磨损后不变的尺寸（如图中 C 类尺寸），可按凹模型孔中心距尺寸公式计算。其凹模刃口尺寸的计算如下：

凹模磨损后变大的尺寸（图中的 A_1，A_2，A_3）

$$A_{凹} = (A_{max} - x\Delta)^{+\Delta/4}_{0} \tag{2-15}$$

凹模磨损后变小的尺寸（图中的 B_1，B_2）

$$B_{凹} = (B_{min} + x\Delta)^{0}_{-\Delta/4} \tag{2-16}$$

凹模磨损后无变化的尺寸（图中 C_1，C_2）

$$C_{凹} = (C_{min} + 0.5\Delta) \pm 0.125\Delta \tag{2-17}$$

落料凸模刃口尺寸按凹模实际尺寸配作，保证双面间隙值为 $Z_{max} - Z_{min}$。

2）冲　孔

冲孔时以凸模为基准，配作凹模。设冲裁件如图 2-17(a)所示，图 2-17(b)为冲孔凸模刃口的轮廓图，图中虚线表示凸模磨损后尺寸的变化情况。

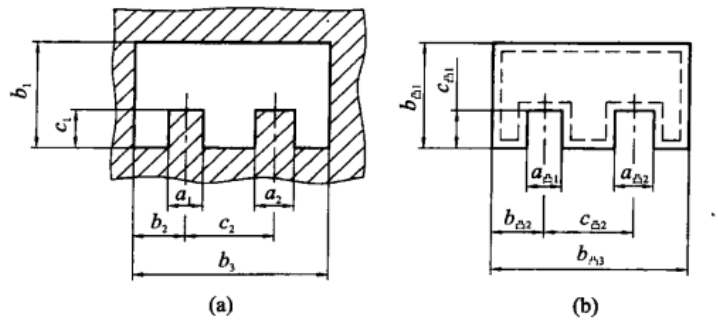


图 2-17　冲孔件与冲孔凸模

从图 2-17(b)中看出，冲孔凸模刃口尺寸的计算同样要考虑三种不同的磨损情况：凸模磨损后变大的尺寸（如图中 a 类尺寸），因为它在凸模上相当于落料凹模尺寸，故按一般落料凹模尺寸公式计算；凸模磨损后变小的尺寸（如图中 b 类尺寸），按一般冲孔凸模尺寸公式计算；凸模磨损后不变的尺寸（如图中 c 类尺寸）仍按凹模型孔中心距尺寸公式计算。其凸模的刃口尺寸计算如下：

凸模磨损后变大的尺寸（图中的 a_1，a_2）

$$a_{凸} = (a_{max} - x\Delta)^{+\Delta/4}_{0} \tag{2-18}$$

凸模磨损后变小的尺寸（图中的 b_1，b_2，b_3）

$$b_{凸} = (b_{min} + x\Delta)^{0}_{-\Delta/4} \tag{2-19}$$

凸模磨损后无变化的尺寸（图中的 c_1，c_2）

$$c_{凸} = (c_{min} + 0.5\Delta) \pm 0.125\Delta \tag{2-20}$$

冲孔凹模尺寸按凸模实际尺寸配作，保证双面间隙 $Z_{max} - Z_{min}$。

例 2-2　如图 2-18(a)所示零件，材料为 10 钢，料厚 $t=2$ mm，按配作加工法计算落料凸、凹模的刃口尺寸及公差。

解　由于零件为落料件，故以凹模为基准，配作凸模。凹模磨损后尺寸变化有变大、变小和不变 3 种情况，如图 2-18(b)所示。

① 凹模磨损后变大的尺寸 $A_1(120^{0}_{-0.72})$，$A_2(70^{0}_{-0.6})$，$A_3(160^{0}_{-0.8})$，A_4(R60)。

刃口尺寸计算公式为 $A_{凹}=(A_{max}-x\Delta)^{+\Delta/4}_{0}$。

因圆弧 $R60$ 与尺寸 $120^{0}_{-0.72}$ 相切，故 $A_{凹4}$ 不需要采用刃口尺寸公式计算，直接取 $A_{凹4}=A_{凹1}/2$。查表 2-13 得 $x_1=x_2=x_3=0.5$，所以

$$A_{凹1}=(120-0.5\times0.72)^{+0.72/4}_{0}\ \text{mm}=119.64^{+0.18}_{0}\ \text{mm}$$

$$A_{凹2}=(70-0.5\times0.6)^{+0.6/4}_{0}\ \text{mm}=69.70^{+0.15}_{0}\ \text{mm}$$

$$A_{凹3}=(160-0.5\times0.8)^{+0.8/4}_{0}\ \text{mm}=159.60^{+0.20}_{0}\ \text{mm}$$

$$A_{凹4}=A_{凹1}/2=119.64^{+0.18}_{0}/2=59.82^{+0.09}_{0}\ \text{mm}$$

② 凹模磨损后变小的尺寸 $B_1(40^{+0.4}_{0})$，$B_2(20^{+0.2}_{0})$。

刃口尺寸计算公式为 $B_{凹}=(B_{min}+x\Delta)^{0}_{-\Delta/4}$

查表 2-13 得 $x_1=0.75$　$x_2=1$，所以

$$B_{凹1}=(40+0.75\times0.4)^{0}_{-0.4/4}\ \text{mm}=40.30^{0}_{-0.10}\ \text{mm}$$

$$B_{凹2}=(20+1\times0.2)^{0}_{-0.2/4}\ \text{mm}=20.20^{0}_{-0.05}\ \text{mm}$$

③ 凹模磨损后不变的尺寸 $C_1(40\pm0.37)$，$C_2(30^{+0.30}_{0})$。

刃口尺寸计算公式 $C_{凹}=(C_{min}+0.5\Delta)\pm0.125\Delta$。

$$C_{凹1}=[(39.63+0.5\times0.74)\pm0.125\times0.74]\ \text{mm}=(40\pm0.09)\ \text{mm}$$

$$C_{凹2}=[(30+0.5\times0.30)\pm0.125\times0.30]\ \text{mm}=(30.15\pm0.04)\ \text{mm}$$

查表 2-7 得 $Z_{min}=0.246$ mm，$Z_{max}=0.360$ mm，落料凸模刃口尺寸按凹磨实际刃口尺寸配作，保证双面间隙值 0.246～0.360 mm。落料凹、凸模刃口尺寸的标注如图 2-18(c)(d)所示。

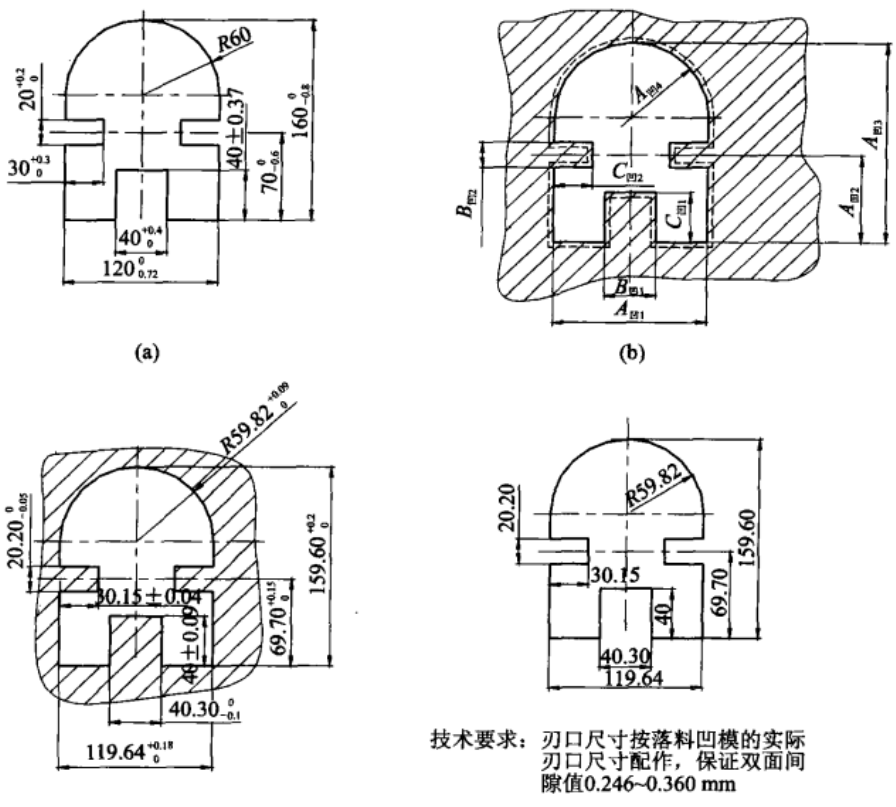


图 2-18　冲裁件及落料凸、凹模刃口尺寸

7. 冲压力与压力中心的计算

(1) 冲压力的计算

在冲裁过程中，冲压力是冲裁力、卸料力、推件力和顶件力的总称。冲压力是选择压力机、设计冲裁模和校核模具强度的重要依据。

1) 冲裁力

冲裁力是冲裁时凸模冲穿板料所需的压力。影响冲裁力的主要因素有材料的力学性能、厚度、冲裁件轮廓周长及冲裁间隙、刃口锋利程度与表面粗糙度等。综合考虑上述影响因素，平刃口模具的冲裁力可按下式计算：

$$F = KLt\tau_b \tag{2-21}$$

式中：F—— 冲裁力，N；

L—— 冲裁件周边长度，mm；

t—— 材料厚度，mm；

τ_b—— 材料抗剪强度，MPa；

K—— 修正系数，一般取 $K=1.3$。

在一般情况下，材料的抗拉强度与抗剪强度的关系为 $\sigma_b \approx 1.3\tau_b$，故冲裁力也可按下式计算：

$$F = L\,t\sigma_b \tag{2-22}$$

式中：σ_b——材料抗拉强度，MPa。

2) 卸料力、推件力与顶件力

从凸模上卸下箍着的材料所需要的力称为卸料力，用 F_X 表示；将卡在凹模内的料顺冲裁方向推出所需要的力称为推件力，用 F_T 表示；逆冲裁方向将料从凹模内顶出所需要的力称为顶件力，用 F_D 表示，如图 2-19 所示。其计算公式分别为

$$F_X = K_X F \tag{2-23}$$

$$F_T = nK_T F \tag{2-24}$$

$$F_D = K_D F \tag{2-25}$$

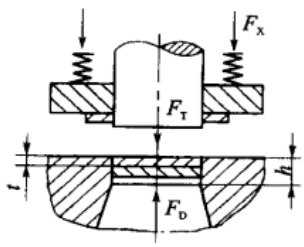


图 2-19 卸料力、推件力与顶件力

式中：K_X，K_T，K_D——分别为卸料力、推件力和顶件力系数，其值见表 2-14；

F—— 冲裁力，N；

n——同时卡在凹模孔内的冲裁件(或废料)数，$n=h/t$(h 为凹模孔口的直刃壁高度，t 为材料厚度)。

表 2-14 卸料力、推件力和顶料力系数

冲裁件材料		K_X	K_T	K_D
纯铜、黄铜		0.02～0.06	0.03～0.09	0.03～0.09
铝、铝合金		0.025	0.03～0.07	0.03～0.07
钢 (料厚 t/mm)	约 0.1	0.065～0.075	0.1	0.14
	>0.1～0.5	0.045～0.055	0.063	0.08
	>0.5～2.5	0.04～0.05	0.055	0.06
	>2.5～6.5	0.03～0.04	0.045	0.05
	>6.5	0.02～0.03	0.025	0.03

3）压力机公称压力的确定

对于冲裁工序，压力机的公称压力应大于或等于冲裁时总冲压力的 1.1～1.3 倍，即

$$F_{压} \geqslant (1.1 \sim 1.3)F_{\Sigma} \tag{2-26}$$

式中：$F_{压}$——压力机的公称压力；

F_{Σ}——冲裁时的总冲压力。

冲裁时，总冲压力为冲裁力和与冲裁力同时发生的卸料力、推件力或顶件力之和。模具结构不同，总冲压力所包含的力的成分也不同，具体可分以下情况计算：

采用弹性卸料装置和下出料方式的冲裁模时

$$F_{\Sigma} = F + F_{X} + F_{T} \tag{2-27}$$

采用弹性卸料装置和上出料方式的冲裁模时

$$F_{\Sigma} = F + F_{X} + F_{D} \tag{2-28}$$

采用刚性卸料装置和下出料方式的冲裁模时

$$F_{\Sigma} = F + F_{T} \tag{2-29}$$

（2）压力中心的计算

冲压力合力的作用点称为压力中心。为了保证压力机和冲裁模正常平稳地工作，必须使冲裁模的压力中心与压力机滑块中心重合，对于带模柄的中小型冲裁模就是要使其压力中心与模柄轴心线重合；否则，冲裁过程中压力机滑块和冲裁模将会承受偏心载荷，使滑块导轨和冲裁模导向部分产生不正常磨损，合理间隙得不到保证，刃口迅速磨损，从而降低冲裁件质量和模具寿命，甚至损坏模具。若因冲裁件的形状特殊，从模具结构方面考虑不宜使压力中心与模柄轴心线重合，也应注意尽量使压力中心不超出所选压力机模柄孔投影面积的范围。

压力中心的确定有解析法、作图法和悬挂法，这里主要介绍解析法。

1）单凸模冲裁时的压力中心

对于形状简单或对称的冲裁件，其压力中心位于冲裁件轮廓图形的几何中心。冲裁直线段时，其压力中心位于直线段的中点。冲裁圆弧段时，其压力中心的位置按下式计算（见图 2-20）：

$$x_0 = R\frac{180 \times \sin\alpha}{\pi\alpha} = R\frac{b}{l} \tag{2-30}$$

对于形状复杂的冲裁件，可先将复杂图形的轮廓线划分为若干简单的直线段及圆弧段，分别计算其冲裁力（即为各段分力），由各分力之和可算出合力。然后任意选定直角坐标轴 X，Y，并算出各线段的压力中心至 X 轴和 Y 轴的距离。最后根据“合力对某轴之矩等于各分力对同轴力矩之和”的力学原理，即可求出压力中心坐标。

如图 2-21 所示，设图形轮廓各线段（包括直线段和圆弧段）的冲裁力为 $F_1, F_2, F_3, \cdots, F_n$，相应各线段的长度为 L_1，$L_2, L_3, \cdots, L_n$，各线段压力中心至坐标轴的距离分别为 x_1，$x_2, x_3, \cdots, x_n$ 和 $y_1, y_2, y_3, \cdots, y_n$，则压力中心坐标计算公式为

$$x_0 = \frac{L_1x_1 + L_2x_2 + L_3x_3 + \cdots + L_nx_n}{L_1 + L_2 + L_3 + \cdots + L_n} \tag{2-31}$$

$$y_0 = \frac{L_1y_1 + L_2y_2 + L_3y_3 + \cdots + L_ny_n}{L_1 + L_2 + L_3 + \cdots + L_n} \tag{2-32}$$

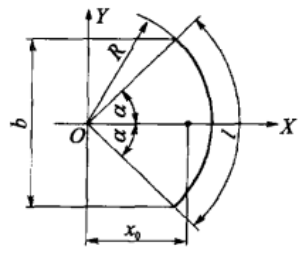


图 2-20　圆弧线段的压力中心

2）多凸模冲裁时的压力中心

多凸模冲裁时压力中心的计算原理与单凸模冲裁时的计算原理基本相同，其具体计算步骤如下（见图 2－22）：

① 选定坐标轴 XY。

② 按前述单凸模冲裁时压力中心计算方法计算出各单一图形的压力中心到坐标轴的距离 $x_1, x_2, x_3, \cdots, x_n$ 和 $y_1, y_2, y_3, \cdots, x_n$。

③ 计算各单一图形轮廓的周长 $L_1, L_2, L_3, \cdots, L_n$。

④ 将计算数据分别代入式（2－31）和式（2－32），即可求得压力中心坐标（x_0, y_0）。

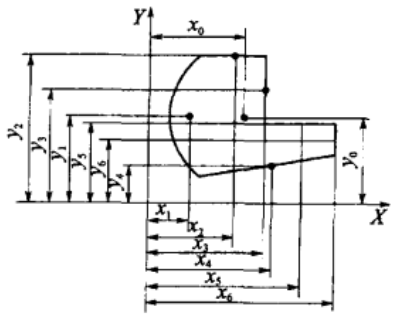


图 2－21 复杂形状件的压力中心

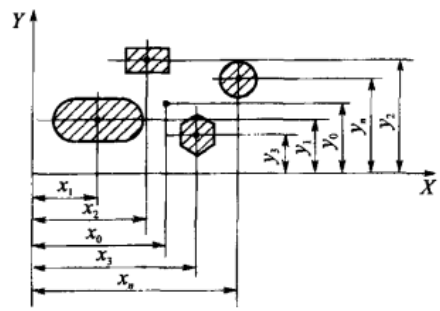


图 2－22 多凸模冲裁时的压力中心

2.2.2 冲裁模的结构组成及分类

1. 冲裁模的结构组成

冲裁模的类型虽然很多，但任何一副冲裁模都是由上模（动模）和下模（定模）两部分组成。上模通过模柄或上模座固定在压力机的滑块上，可随滑块做上、下往复运动，是冲裁模的活动部分；下模通过下模座固定在压力机工作台或垫板上，是冲裁模的固定部分。

通常可将冲裁模分成以下几个组成部分：

（1）工作零件

直接使坯料产生分离或塑性变形的零件，是冲裁模中最重要的零件，有凸模、凹模和凸凹模等，如图 2－23 所示的冲孔凸模 17、凸凹模 18 和落料凹模 7。

（2）定位零件

确定坯料或工序件在冲裁模中正确位置的零件，有挡料销、导料销、侧刃和导正销等，如图 2－23 所示的挡料销 22 和导料销 6。

（3）压料、卸料与出件零件

这类零件是将箍在凸模上或卡在凹模内的废料或冲裁件卸下、推出或顶出，以保证冲压工作能继续进行，有卸料板、卸料螺钉、橡胶、弹簧、打杆和推件块等，如图 2－23 所示的打杆 15、卸料板 19、推件块 8 和橡胶 5 等。

（4）导向零件

确定上、下模的相对位置并保证运动导向精度的零件，有导板、导柱和导套等，如图 2－23 所示的导柱 3 和导套 10。

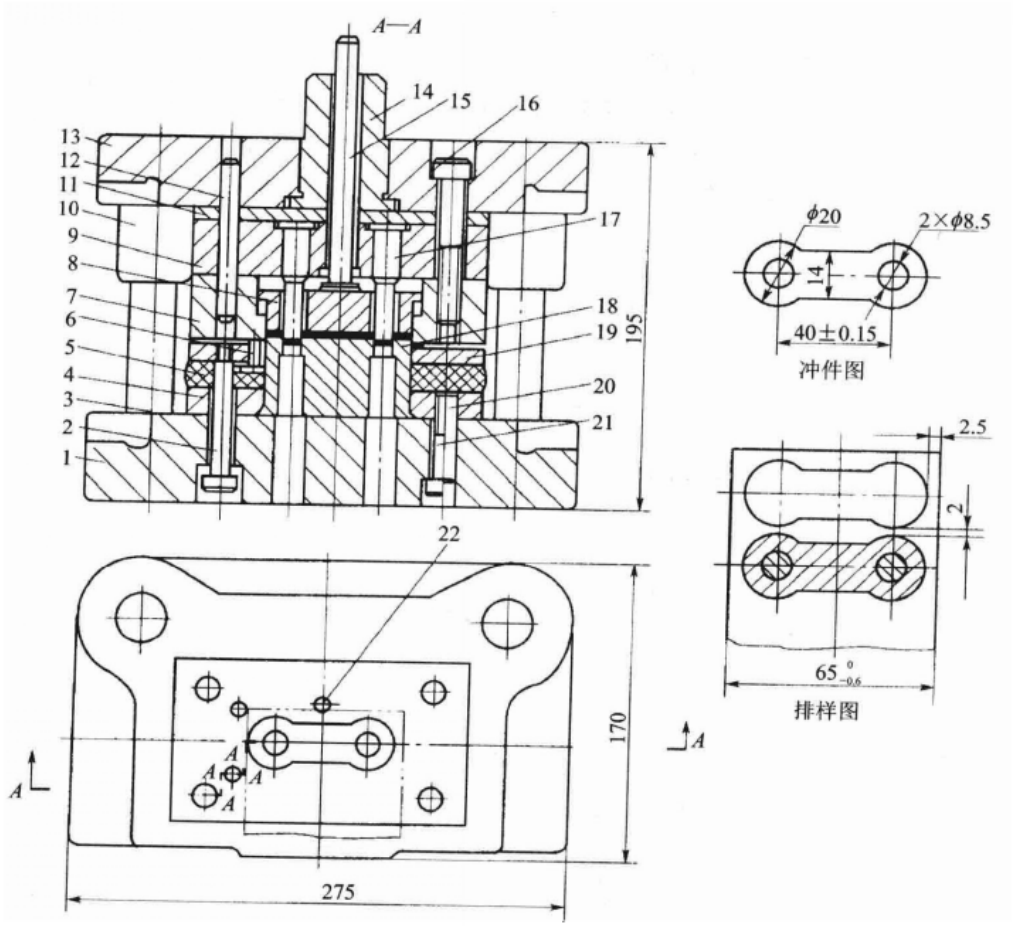
（5）支承零件

将上述各类零件固定在上、下模上以及将上、下模连接在压力机上的零件，有凹凸模固定板、垫板、上模座、下模座和模柄等，如图 2－23 所示的上模座 13、下模座 1、凸凹模固定板 4、凸模固定板 9、垫板 11 和模柄 14。

（6）紧固及其他零件

有螺钉、销钉等，如图 2－23 所示的螺钉 16,21，销钉 12,20。

上述冲裁模零件，一般把工作零件、定位零件及卸料零件统称为工艺零件（即直接参与完成工艺过程并与板料或冲裁件直接发生作用的零件），而把导向零件、支承零件及紧固零件等称为结构零件（即将工艺零件固定联接起来构成模具整体，是对冲裁模完成工艺过程起保证和完善作用的零件）。



1—下模座；2—卸料螺钉；3—导柱；4—凸凹模固定板；5—橡胶；6—导料销；7—落料凹模；8—推件块；9—凸模固定板；10—导套；11—垫板；12，20—销钉；13—上模座；14—模柄；15—打杆；16，21—螺钉；17—冲孔凸模；18—凸凹模；19—卸料板；22—挡料销

图 2－23　落料冲孔复合模

2. 冲裁模的分类

冲裁模的结构类型很多，一般可按下列不同特征分类：

① 按工序性质分类，可分为落料模、冲孔模、切断模、切口模、切边模和剖切模等。

② 按工序组合程度分类，可分为单工序模、级进模和复合模等。

③ 按模具导向方式分类，可分为无导向的开式模、有导向的导板模和导柱模等。

④ 按模具专业化程度分类，可分为通用模、专用模、自动模、组合模和简易模等。

⑤ 按模具工作零件所用材料分类，可分为钢质冲裁模、硬质合金冲裁模、锌基合金冲裁模、橡胶冲裁模和钢带冲裁模等。

⑥ 按模具结构尺寸分类，可分为大型冲裁模和中小型冲裁模等。

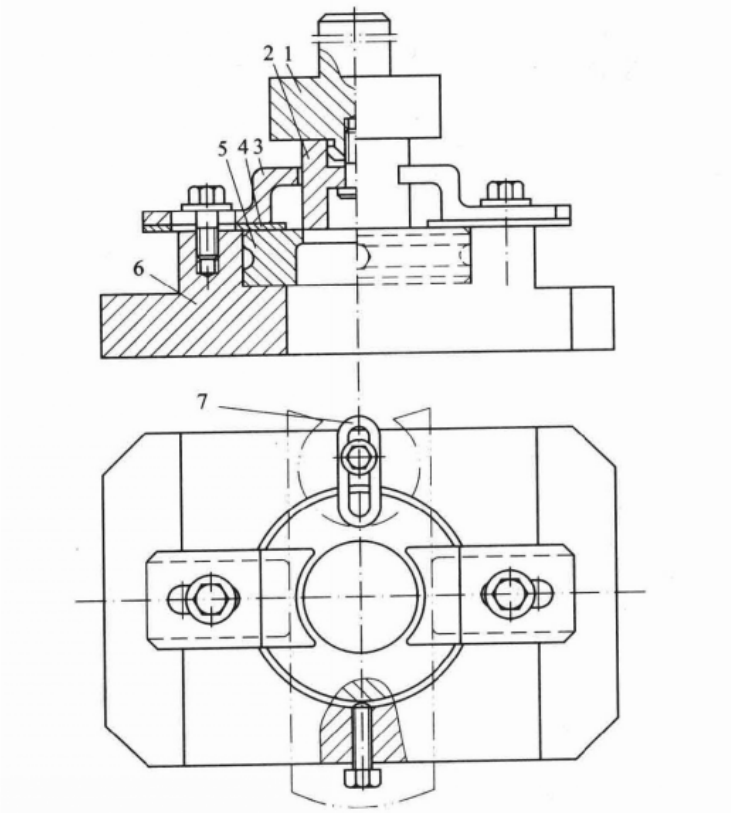
2.2.3 冲裁模典型结构

1. 单工序模

单工序冲裁模又称简单冲裁模，是指在压力机的一次行程内只完成一种冲裁工序的模具。

(1) 开式简单冲裁模

图 2-24 所示为冲裁圆形零件的无导向的开式落料模，工作零件为凸模 2 和凹模 5，定位零件为导料板 4 和定位板 7，卸料零件为卸料板 3，其余为支承和固定零件。上、下模之间无直接导向关系。工作时，条料沿导料板 4 送至定位板 7 定位后进行冲裁，从条料上分离下来的冲裁件靠凸模直接从凹模洞口依次推下，箍在凸模上的废料由固定卸料板 3 刮下来。照此循环，完成落料工作。



1—模柄；2—凸模；3—卸料板；4—导料板；5—凹模；6—下模座；7—定位板

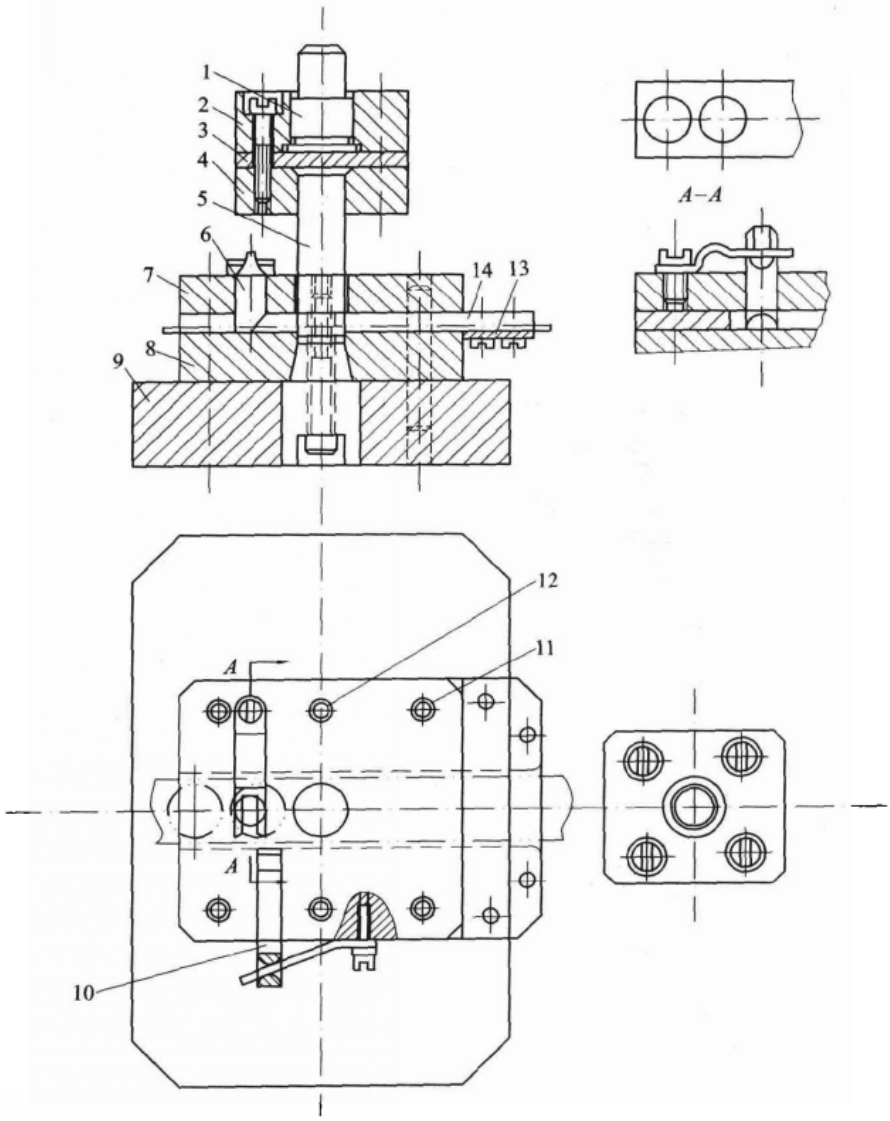
图 2-24 无导向落料模

该模具具有一定的通用性，通过更换凸模和凹模，调整导料板、定位板和卸料板位置，便可冲裁不同尺寸的零件。另外，改变定位零件和卸料零件的结构，还可以用于冲孔，即成为冲孔模。

无导向落料模的特点是结构简单，制造容易，可用边角料冲裁，有利于降低冲裁件成本。但凸模的运动是靠压力机滑块导向的，不易保证凸、凹模间隙的均匀，冲裁件精度不高，同时模具安装调整麻烦，模具寿命和生产率较低，操作也不够安全。这种落料模只适用于冲裁精度要求不高、形状简单和生产批量小的冲裁件。

(2) 导板式简单冲裁模

图 2－25 所示为冲制圆形零件的导板式落料模，工作零件为凸模 5、凹模 8，定位零件是活



1—模柄；2—上模座；3—垫板；4—凸模固定板；5—凸模；6—活动挡料销；7—导板；8—凹模；9—下模座；10—始用挡料销；11—销钉；12—螺钉；13—承料板；14—导料板

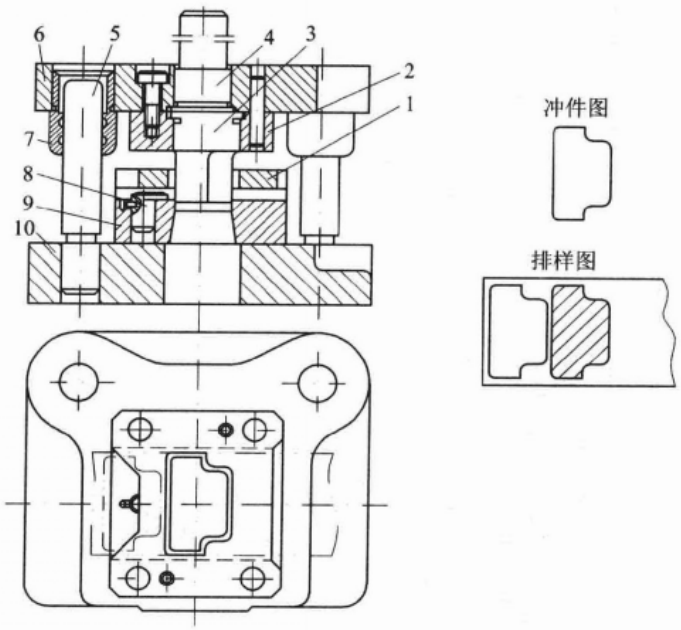
图 2－25　导板式落料模

动挡料销 6、始用挡料销 10、导料板 14 和承料板 13，导板 7 即是导向零件又是卸料零件。工作时，条料沿承料板 13、导料板 14 自右向左送进，首次送进时用手将始用挡料销 10 推进，使条料端部被始用挡料销阻挡定位，凸模 5 下行与凹模 8 一起完成落料，冲裁件由凸模从凹模孔中推下。凸模回程时，箍在凸模上的条料被导板卸下。继续送进条料时，先松手使始用挡料销复位，将落料后的条料端部搭边越过活动挡料销 6 后再反向拉紧条料，活动挡料销抵住搭边定位，落料工作继续进行。因活动挡料销对首次落料不起作用，故需设置初始挡料销。

这种冲裁模的主要特征是凸模的运动依靠导板导向，易于保证凸、凹模间隙的均匀性，同时凸模回程时导板又可起卸料作用。导板模与无导向模相比，冲裁件精度高，模具寿命长，安装容易，卸料可靠，操作安全，但制造相对比较麻烦。导板模一般用于形状较简单、尺寸不大、料厚大于 0.3 mm 的小件冲裁。

(3) 导柱式简单冲裁模

图 2-26 所示为导柱式固定卸料落料模，凸模 3 和凹模 9 是工作零件，固定挡料销 8 与导料板(与固定卸料板 1 做成了一整体)是定位零件，导柱 5、导套 7 为导向零件，固定卸料板 1 只起卸料作用。这种冲裁模的上、下模正确位置是利用导柱和导套的导向来保证的，且凸模在进行冲裁之前，导柱已经进入导套，从而保证了在冲裁过程中凸、凹模之间间隙的均匀性。该模具用固定挡料销和导料板对条料定位，冲裁件由凸模逐次从凹模孔中推下并经压力机工作台孔漏入料箱。

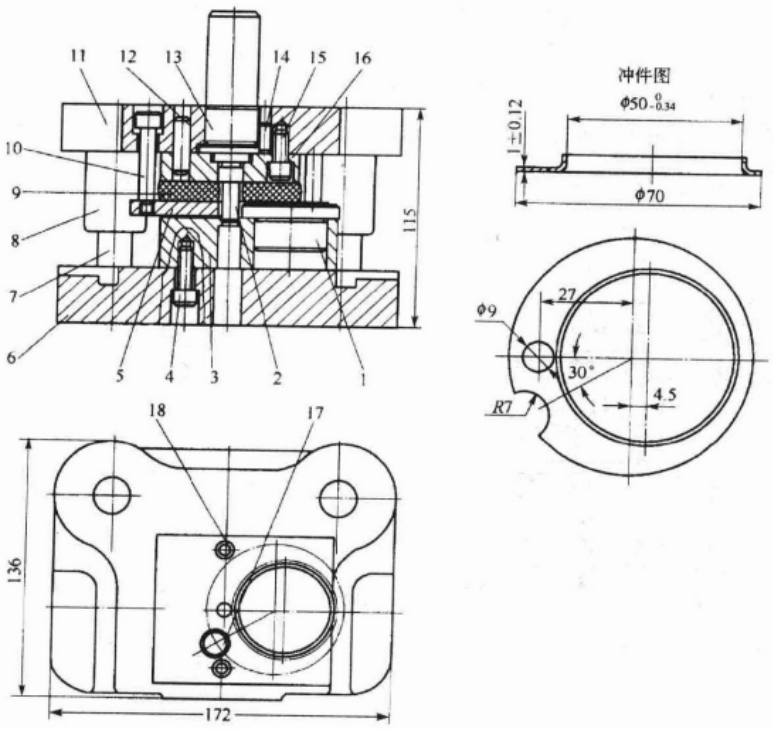


1—固定卸料板；2—凸模固定板；3—凸模；4—模柄；5—导柱；6—上模座；7—导套；8—钩形固定挡料销；9—凹模；10—下模座

图 2-26　导柱式固定卸料落料模

图 2-27 所示为导柱式冲孔模，凸模 2 和凹模 3 是工作零件，定位销 1,17 是定位零件，卸料板 5、卸料螺钉 10 和橡胶 9 构成弹性卸料装置。工件以内孔 ϕ50 和圆弧槽 $R7$ 分别在定位销 1 和 17 上定位，弹性卸料装置在凸模 2 下行冲孔时可将工件压紧，以保证冲裁件平整，在凸

模回程时又能起卸料的作用。冲孔废料直接由凸模依次从凹模孔内推出。定位销 1 的右边缘与凹模板外侧平齐，可使工件定位时右凸缘悬于凹模板以外，以便于取出冲件。



1,17—定位销；2—凸模；3—凹模；4,15—螺钉；5—卸料板；6—下模座；7—导柱；8—导套；9—橡胶；10—卸料螺钉；11—上模座；12,18—销钉；13—模柄；14—防转销；16—固定板

图 2-27　导柱式冲孔模

导柱式冲裁模的导向比导板模可靠，冲裁件精度高，模具寿命长，使用安装方便。但模具轮廓尺寸较大，质量大，制造成本高。这种冲裁模广泛用于冲裁生产批量大，精度要求高的冲裁件。

2. 复合模

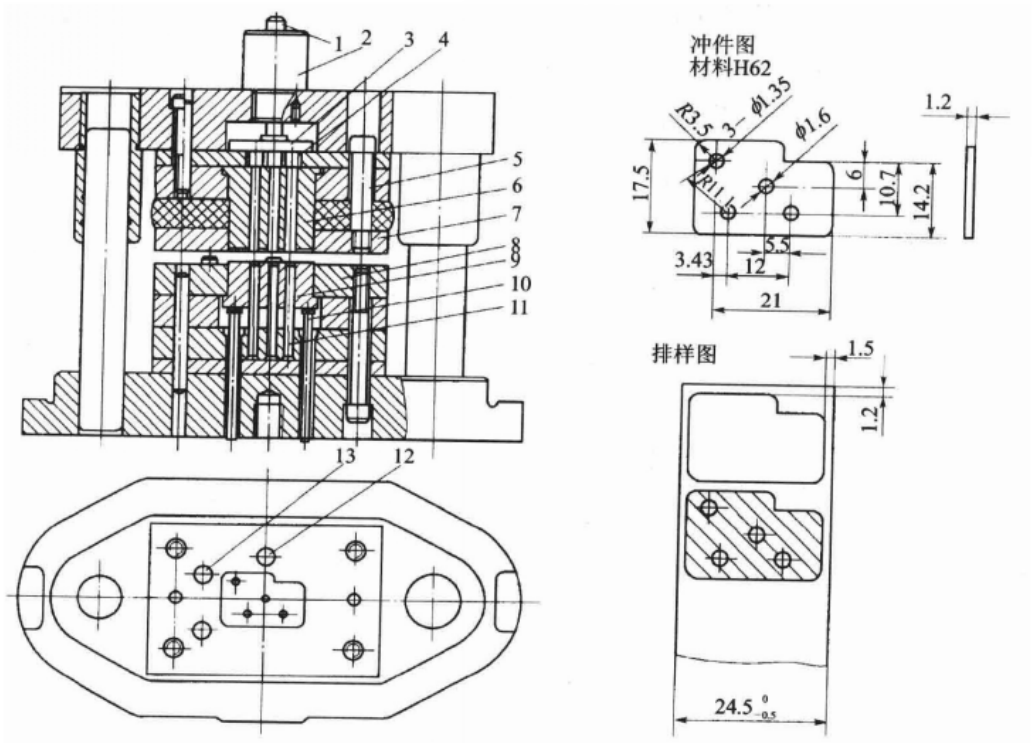
复合模是指在压力机的一次行程中，在模具的同一个工位上同时完成两道或两道以上不同冲裁工序的冲裁模。复合模是一种多工序冲裁模，它在结构上的主要特征是有一个或几个有双重作用的工作零件——凸凹模，如在落料冲孔复合模中有一个既能作落料凸模又能作冲孔凹模的凸凹模。

根据凸凹模在模具中的装配位置不同，分为正装式复合模和倒装式复合模两种。凸凹模装在上模的称为正装式复合模，凸凹模装在下模的称为倒装式复合模。

(1) 正装式复合模

图 2-28 所示为正装式落料冲孔复合模，凸凹模 6 装在上模，落料凹模 8 和冲孔凸模 11 装在下模。工作时，条料由导料销 13 和挡料销 12 定位，上模下压，凸凹模外形与落料凹模进行落料，落下的冲裁件卡在凹模内，同时冲孔凸模与凸凹模内孔进行冲孔，冲孔废料卡在凸凹模孔内。卡在凹模内的冲件由顶件装置顶出。顶件装置由带肩顶杆 10、顶件块 9 及装在下模座底下的弹顶器(与下模座的螺纹孔联接，图中未画出)组成，当上模上行时，原来在冲裁时被

压缩的弹性元件恢复弹性力通过顶杆和顶件块把卡在凹模中的冲裁件顶出凹模面。该顶件装置因弹顶器装在模具底下，弹性元件的高度不受模具空间的限制，顶件力大小容易调节，可获得较大的顶件力。卡在凹模内的冲孔废料由推件装置推出。推件装置由打杆 1、推板 3 和推杆 4 组成，当上模行至上止点时，压力机滑块内的打料杆通过打杆、推板和推杆把废料推出。每冲裁一次，冲孔废料被推出一次，凸凹模孔内不积存废料，因而胀力小，凸凹模不易破裂。但冲孔废料落在下模工作面上，清除废料较麻烦（尤其是孔较多时）。条料的边料由弹性卸料装置卸下。由于采用固定挡料销和导料销，故需在卸料板上钻出让位孔。



1—打杆；2—模柄；3—推板；4—推杆；5—卸料螺钉；6—凸凹模；7—卸料板；8—落料凹模；9—顶件块；10—带肩顶杆；11—冲孔凸模；12—挡料销；13—导料销

图 2-28　正装式复合模

从上述工作过程可以看出，正装式复合模工作时，板料是在压紧的状态下分离，故冲出冲裁件平直度较高，但由于弹性顶件和弹性卸料装置的作用，分离后的冲裁件容易被嵌入边料中影响操作，从而影响了生产率。

（2）倒装式复合模

图 2-23 所示为倒装式复合模。该模具的凸凹模 18 装在下模，落料凹模 7 和冲孔凸模 17 装在上模。倒装式复合模一般采用刚性推件装置，冲裁件不是处于被压状态下分离，因而冲裁件的平直度不高。同时由于冲孔废料直接从凸凹模内孔推下，当采用直刃壁凹模洞口时，凸凹模内孔中会聚积废料，凸凹模壁厚较小时可能引起胀裂，因而这种复合模结构适用于冲裁材料较硬或厚度大于 0.3mm，且孔边距较大的冲裁件。如果在上模设置弹性元件，即可用来冲制材料较软或料厚小于 0.3mm、平直度要求较高的冲裁件。

从正装式和倒装式复合模结构分析中可以看出，两者各有优缺点。正装式复合模较适用冲制材料较软或料厚较薄、平直度要求较高的冲裁件，还可以冲制孔边距较小的冲件；而倒装式复合模结构简单（省去了顶出装置），便于操作，并为机械化出件提供了条件，故应用非常广泛。

3. 级进模

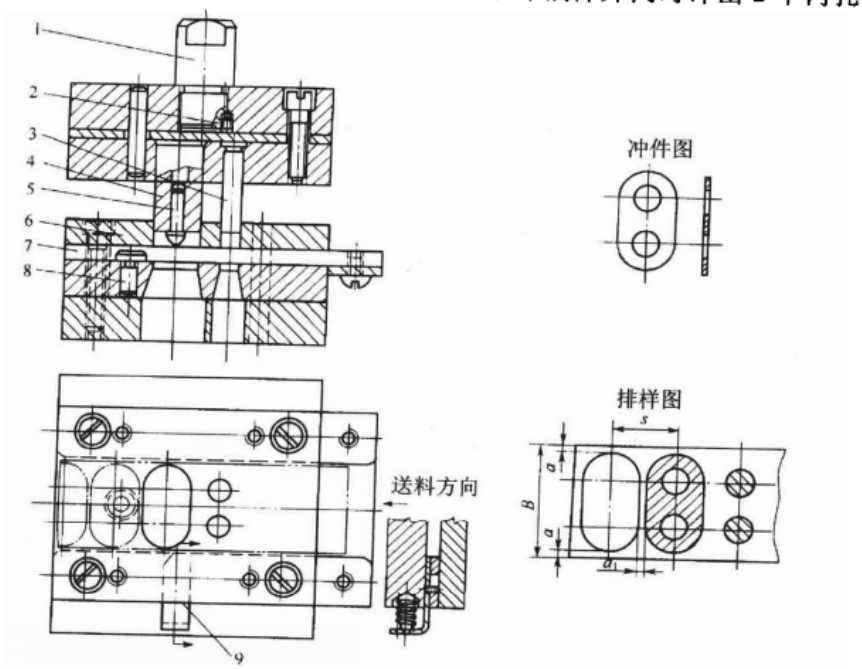
级进模又称连续模，是指在压力机的一次行程中，依次在同一模具的不同工位上同时完成多道工序的冲裁模。由于用级进模冲压时，冲裁件是依次在几个不同工位上逐步成型的，因此要保证冲裁件的尺寸及内、外形相对位置精度，模具结构上必须解决条料或带料的准确送进与定距问题。

级进模不但可以完成冲裁工序，还可完成成形工序（如弯曲、拉深等），甚至装配工序。许多需要多工序冲压的复杂冲压件可以在一副模具上完全成型，为高速自动冲压提供了有利条件，因而它是一种多工序高效率冲裁模。

根据级进模定位零件的特征，级进模有以下两种典型结构：

（1）挡料销和导正销定位的级进模

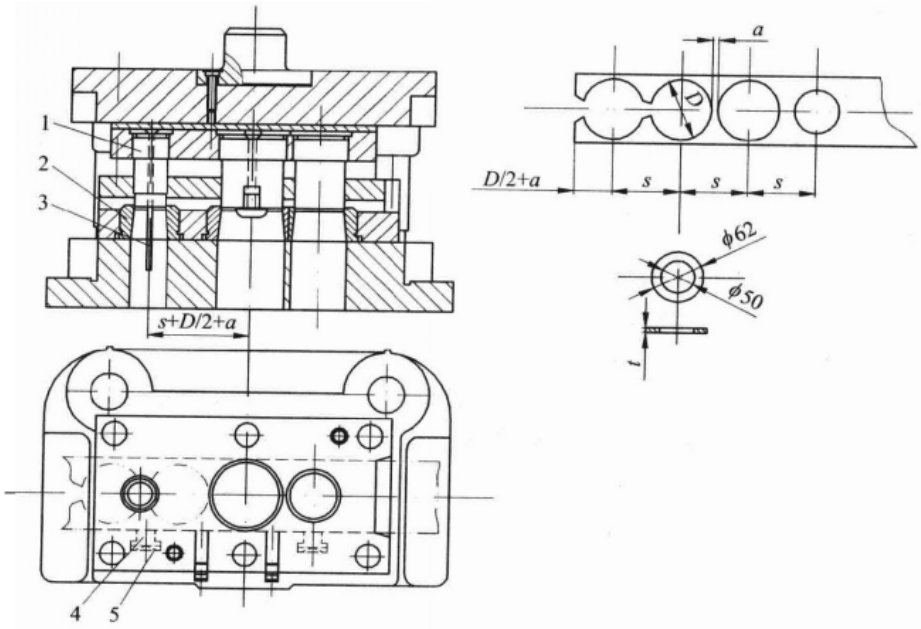
图 2－29 所示为用挡料销和导正销定位的冲孔落料级进模。上、下模通过导板（兼卸料板）导向，冲孔凸模 3 与落料凸模 4 之间的中心距等于送料距离 s（步距），条料由固定挡料销 8 粗定位，由装在落料凸模上的 2 个导正销 5 精确定位。为了保证首件冲裁时的正确定距，采用了始用挡料销 9。工作时，先用手按住始用挡料销对条料进行初始定位，冲孔凸模在条料上冲出 2 个孔，然后松开始用挡料销，将条料送至固定挡料销进行粗定位，上模下行时导正销 5 先行导入条料上已冲出的孔进行精确定位，继而同时进行落料和冲孔。以后各次冲裁时都由固定挡料销 8 控制进距作粗定位，每次行程即可冲下一个冲裁件并同时冲出 2 个内孔。



1—模柄；2—止转螺钉；3—冲孔凸模；4—落料凸模；5—导正销；6—导板；7—导料板；8—固定挡料销；9—始用挡料销

图 2－29 用挡料销和导正销定位的级进模

图 2－30 所示为具有自动挡料装置的级进模。自动挡料装置由挡料杆 3、冲搭边凸模 1 和凹模 2 组成。开始工作时，冲孔和落料的两次送进分别由两个始用挡料销定位，第三次及其以后的送料均由自动挡料装置定位。由于挡料杆始终不离开凹模的上平面，所以送料时都能用挡料杆挡住条料搭边，在冲孔、落料的同时，凸模 1 和凹模 2 也把搭边冲出一个缺口，使条料可以继续送进一个进距，从而实现自动挡料的作用。另外，该模具还设有由侧压块 4 和侧压簧片 5 组成的侧压装置，可将条料始终压向对面的导料板上，使条料送进方向更加准确。



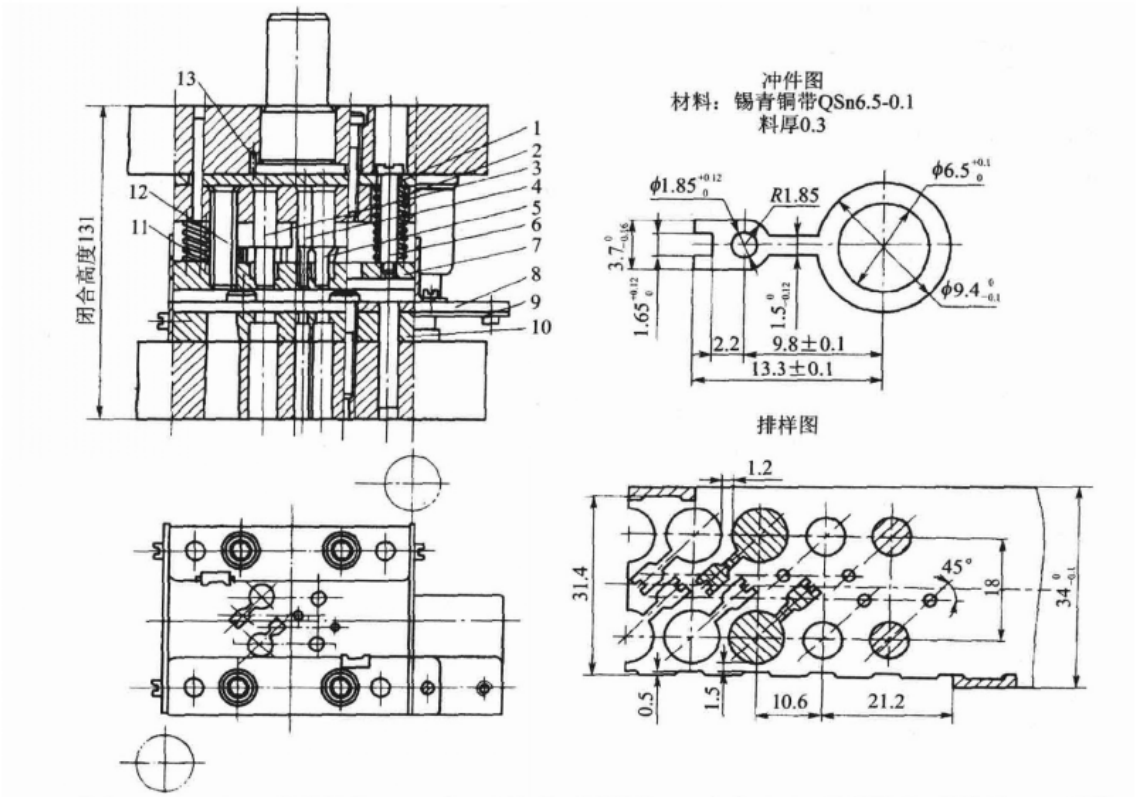
1—冲搭边凸模；2—冲搭边凹模；3—挡料杆；4—侧压块；5—侧压簧片

图 2－30　具有自动挡料销装置的级进模

（2）侧刃定距的级进模

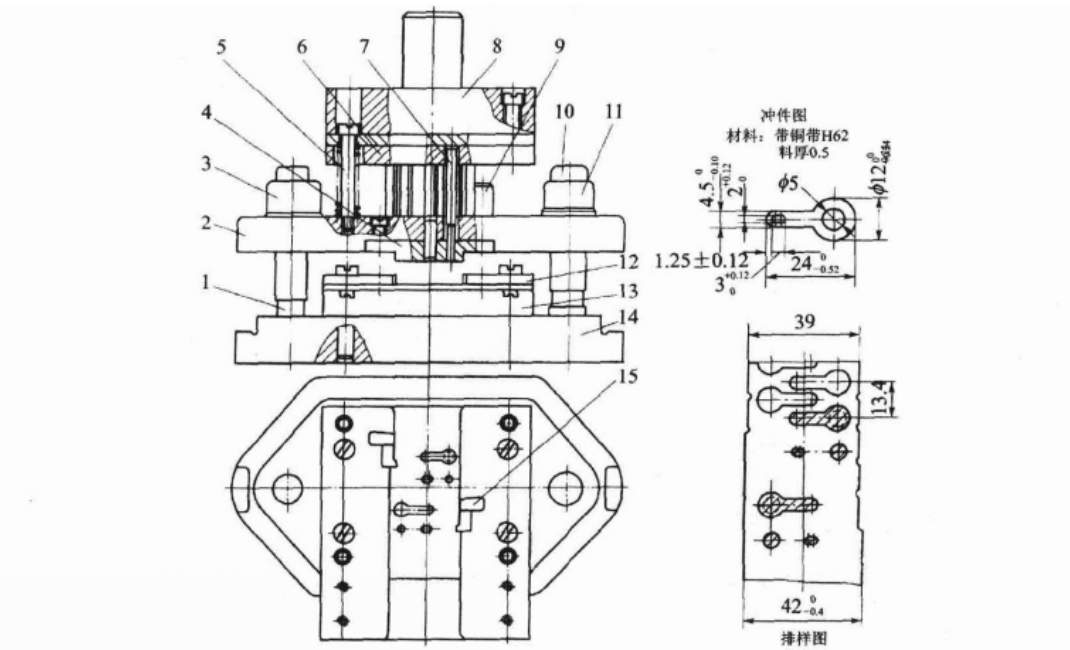
图 2－31 所示为双侧刃定距的冲孔落料级进模。它用一对侧刃 12 代替了始用挡料销、固定挡料销和导正销来控制条料的送进距离。侧刃实际上是一个具有特殊功用的凸模，其作用是在压力机每次冲压行程中，沿条料边缘切下一块长度等于进距的边料。由于沿送料方向上，侧刃前后两导料板的间距不同，前宽后窄形成一个凸肩，所以条料上只有被切去料边的部分方能通过，通过的距离正好等于进距。采用双侧刃前后对角排列，在料头和料尾冲压时都能起定距作用，从而减少条料的损耗，对于工位较多的级进模都应采用这种结构方式。此外，由于该模具冲裁的板料较薄(0.3 mm)，又是侧刃定距，所以采用弹性卸料代替固定卸料。

图 2－32 所示为侧刃定距的弹压导板级进模。该模具除了具有上述侧刃定距级进模的特点外，还具有如下特点：凸模以装在弹压导板 2 中的导板镶块 4 导向，弹压导板又以导柱 1，10 导向，保证了凸模与凹模的正确配合，并加强了凸模的纵向稳定性，避免小凸模产生纵向弯曲；凸模与固定板 6 为间隙配合，使凸模装配、调整和更换较方便；弹压导板用卸料螺钉与上模连接，加上凸模与固定板是间隙配合，因此能消除压力机导向误差对模具的影响，可延长模具的寿命；设置了淬硬的侧刃挡块 15，提高了导料板 12 挡料处的耐用度，从而提高了条料的定距精度。



1—垫板；2—固定板；3—落料凹模；4，5—冲孔凸模；6—卸料螺钉；7—卸料板；8—导料板；9—承料板；10—凹模；11—弹簧；12—侧刃；13—防转销

图 2－31　双侧刃定距冲孔落料级进模



1，10—导柱；2—弹压导板；3，11—导套；4—导板镶块；5—卸料螺钉；6—凸模固定板；7—冲孔凸模；8—上模座；9—限位柱；12—导料板；13—凹模；14—下模座；15—侧刃挡块

图 2－32　侧刃定距弹压导板级进模

比较上述两种定位方法的级进模不难看出，如果板料厚度较小，用导正销定位时孔的边缘可能被导正销摩擦压弯，因而不能起正确导正和定位作用；对窄长形的冲裁件（步距小于6～8 mm），不宜安装始用挡料销和固定挡料销；落料凸模尺寸不大时，若在凸模上安装导正销将影响凸模强度。因此，固定挡料销和导正销定位的级进模，一般适用于冲制板料厚度大于0.3 mm、材料较硬的冲裁件、步距大于6～8 mm以及落料凸模稍大的场合。否则，宜用侧刃定位。侧刃定位的级进模不存在上述问题，且操作方便，效率高，定位准确，但材料消耗较多，冲裁力增大，模具也比较复杂。

在实际生产中，对精度要求较高、工位较多的级进冲裁可采用既有侧刃又有导正销联合定位的级进模。此时侧刃相当于始用和固定挡料销，用于粗定位，导正销作为精定位。

前面介绍了单工序模、复合模、级进模三类冲裁模的典型结构，这三类模具的结构特点与适用场合各有不同，表2-15列出了它们之间的对比关系，供选择模具类型时参考。

表2-15　三类冲裁模的对比关系

模具种类 / 比较项目	单工序模		复合模	级进模
	无导向的	有导向的		
冲裁件精度	低	一般	可达IT10～IT8	IT13～IT10
冲裁件平整度	差	一般	因压料较好，冲裁件平整	不平整，要求质量较高时要校平
冲裁件最大尺寸和材料厚度	尺寸和厚度不受限制	中小型尺寸，厚度较大	尺寸在300 mm以下，厚度在0.05～3 mm之间	尺寸在250 mm以下，厚度在0.1～6 mm之间
生产率	低	较低	冲裁件或废料落到或被顶到模具工作面上，需用手工或机械清理，生产率稍低	工序间可自动送料，冲裁件和废料一般从下模漏下，生产率较高
使用高速压力机	不能使用	可以使用	操作时出件较困难，速度不宜太高	可以使用
多排冲压法的应用	不采用	很少采用	很少采用	冲裁件尺寸小时应用较多
模具制造的工作量和成本	低	比无导向的稍高	冲裁复杂形状时比级进模低	冲裁简单形状时比复合模低
适应冲裁件的批量	小批量	中小批量	大批量	大批量
安全性	不安全，需采用安全措施			比较安全

2.2.4　冲裁模主要零部件的设计与选用

为了促进模具工业的迅速发展，促进技术交流，简化模具设计，缩短生产周期，国家标准总局对中小型冲裁模先后制定了GB/T 2851.1～2861.16—1990，GB/T 2861.17—1981等标准。这些标准根据模具类型、导向方式、凹模形状等的不同，规定了若干种典型组合形式。每一种典型组合中，又规定了多种模架类型及相应的凹模周界尺寸（长×宽或直径）、凹模厚度、

凸模长度和固定板、卸料板、垫板、导料板等的具体尺寸，还规定了相应的技术条件等。这样在模具设计时，重点就只需放在工作零件的设计上，其他零件可尽量选用标准件或选用标准件后再进行二次加工，简化了模具设计，缩短了设计周期，同时为模具 CAD 奠定了基础。

1. 工作零件

(1) 凸　模

1) 凸模的结构形式与固定方法

由于冲裁件的形状和尺寸不同，生产中使用的凸模结构形式很多：按结构类型分，有整体式(包括阶梯式和直通式)和镶拼式；按截面形状分，有圆形和非圆形；按刃口形状分，有平刃和斜刃等。但不管凸模的结构形状如何，其基本结构均由两部分组成：一是工作部分，用以成形冲裁件；二是安装部分，用来使凸模正确地固定在模座上。对刃口尺寸不大的小凸模，从增加刚度等因素考虑，可在这两部分之间增加过渡段，如图 2－33 所示。

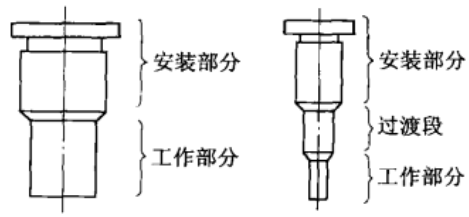


图 2－33　凸模的结构组成

凸模的固定方法有台肩固定、铆接固定、粘结剂浇注固定、螺钉与销钉固定等。

下面分别介绍整体式圆形凸模和非圆形凸模的结构形式与固定方式。

① 整体式圆形凸模

为了保证强度、刚度及便于加工与装配，圆形凸模常做成圆滑过渡的阶梯形，前端直径为 d 的部分是具有锋利刃口的工作部分，中间直径为 D 的部分是安装部分，它与固定板按 H7/m6 或 H7/n6 配合，尾部台肩是为了保证卸料时凸模不致被拉出。圆形凸模已经标准化，图 2－34所示为标准圆形凸模的 3 种结构形式及固定方法。其中图 2－34(a)用于较大直径的凸模，图 2－34(b)用于较小直径的凸模，它们都采用台肩式固定，图 2－34(c)是快换式小凸模，维修更换方便。标准凸模一般根据计算所得的刃口直径 d 和长度要求选用。

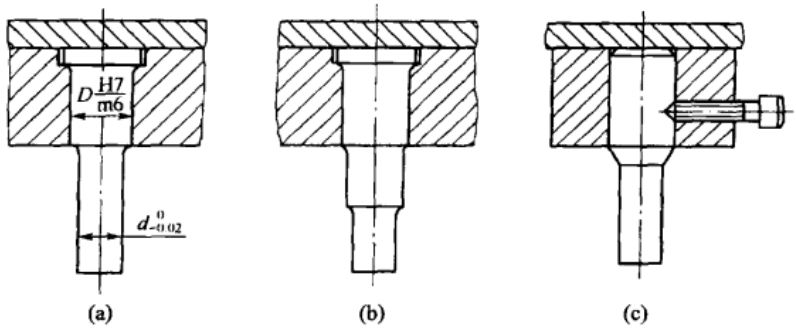


图 2－34　标准圆形凸模的结构及固定

② 整体式非圆形凸模

非圆形凸模一般有阶梯式(图 2－35(a)(b))和直通式(图 2－35(c)(d)(e))。为了便于加工，阶梯式非圆形凸模的安装部分通常做成简单的圆形或方形，用台肩或铆接法固定在固定板上，安装部分为圆形时还应在固定端接缝处打入防转销。直通式非圆形凸模便于用线切割或

成形铣、成形磨削加工，通常用铆接法或粘结剂浇注法固定在固定板上，尺寸较大的凸模也可直接通过螺钉和销钉固定。

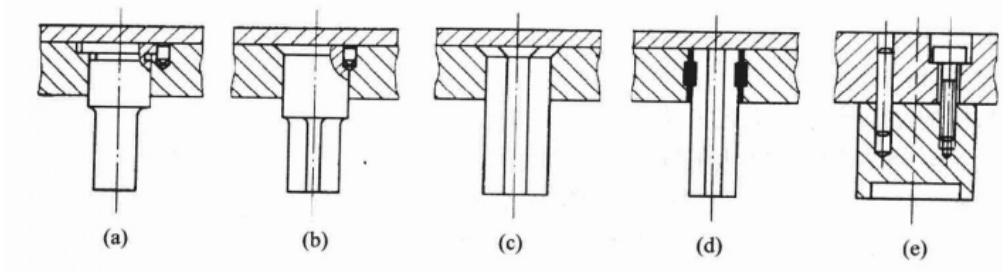


图 2－35　非圆形凸模的结构及固定

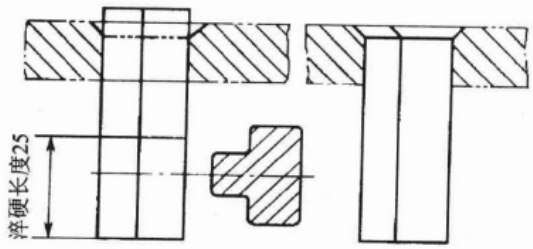


图 2－36　凸模的铆接固定

采用铆接法固定凸模时，凸模与固定板安装孔仍按 H7/m6 或 H7/n6 配合，同时安装孔的上端沿周边要制成(1.5～2.5)×45°的斜角，作为铆窝。铆接时一般用手锤击打头部，因此凸模必须限定淬火长度，或将尾部回火，以便头部一端的材料保持较低硬度，图 2－36(a)(b)分别表示凸模铆接前、后的情形。凸模铆接后还要与固定板一起将铆端磨平。

用粘结剂浇注法固定凸模时，固定板上的安装孔尺寸应比凸模大，留有一定间隙以便填充粘结剂。同时，为了粘结牢靠，在凸模固定端或固定板相应的安装孔上应开设一定的槽形。用粘结剂浇注固定法的优点是安装部位的加工要求低，特别对多凸模冲裁时可以简化凸模固定板的加工工艺，便于在装配时保证凸模与凹模的正确配合。

2）凸模长度计算

凸模的长度尺寸应根据模具的具体结构确定，同时要考虑凸模的修磨量及固定板与卸料板之间的安全距离等因素。当采用固定卸料时，见图 2－37，凸模长度可按下式计算：

$$L = h_1 + h_2 + h_3 + h \qquad (2-33)$$

式中：L—— 凸模长度，mm；

h_1—— 凸模固定板厚度，mm；

h_2—— 卸料板厚度，mm；

h_3—— 导料板厚度，mm；

h——附加长度，mm，它包括凸模的修磨量、凸模进入凹模的深度(0.5～1 mm)、凸模固定板与卸料板之间的安全距离(15～20 mm)等。

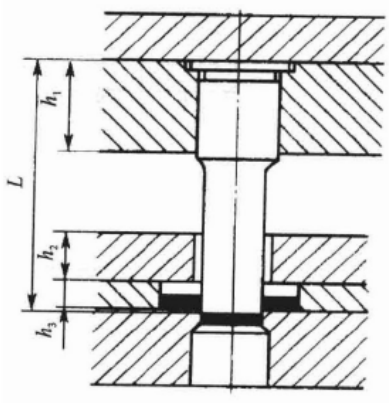


图 2－37　凸模长度的计算

若选用标准凸模，按照上述方法算得凸模长度后，还应根据冲裁模标准中的凸模长度系列选取最接近的标准长度作为实际凸模的长度。

3）凸模的强度与刚度校核

一般情况下，凸模的强度和刚度是足够的，没有必要进行校核。但是当凸模的截面尺寸很小而冲裁的板料厚度较大，或根据结构需要确定的凸模特别细长时，则应进行承压能力和抗失稳弯曲能力的校核。校核的计算公式可参阅有关的模具设计手册。

(2) 凹　模

1) 凹模的结构形式与固定方法

凹模的结构形式也较多，按外形可分为圆形凹模和板形凹模；按结构分为整体式和镶拼式；按刃口形式也有平刃和斜刃。这里只介绍整体式平刃口凹模。

图 2－38(a)(b)所示为国家标准中的两种冲裁圆形凹模及其固定方法，这两种圆形凹模尺寸都不大，一般以 H7/m6 或 H7/r6 的配合关系压入凹模固定板，然后再通过螺钉、销钉将凹模固定板固定在模座上。这两种圆形凹模主要用于冲孔(孔径 $d=1\sim28$ mm，料厚 $t<2$ mm)，可根据使用要求及凹模的刃口尺寸从相应的标准中选取。

实际生产中，由于冲裁件的形状和尺寸千变万化，因而大量使用外形为矩形或圆形的凹模板，在其上面开设所需要的凹模孔口，用螺钉和销钉直接固定在模座上，如图 2－38(c)所示。凹模板轮廓尺寸已经标准化，它与标准固定板、垫板和模座等配套使用，设计时可根据计算所得的凹模轮廓尺寸选用。图 2－38(d)所示为快换式冲孔凹模及其固定方法。

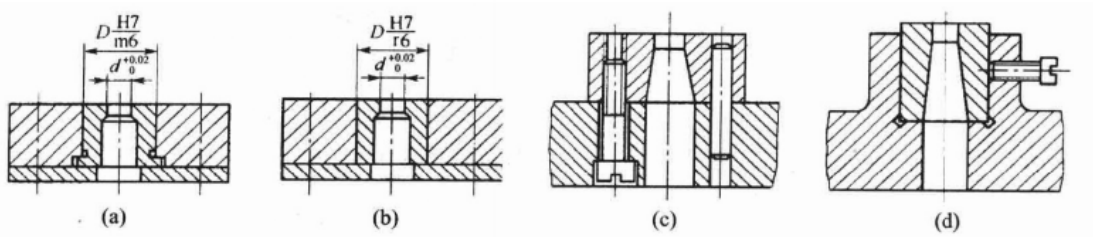
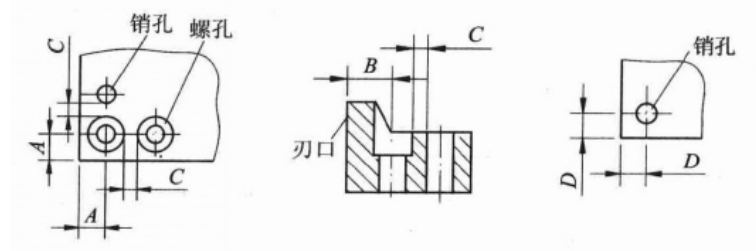


图 2－38　凹模形式及其固定

凹模采用螺钉和销钉定位固定时，要保证螺孔间、螺孔与销孔间及螺孔或销孔与凹模刃口间的距离不能太近，否则会影响模具寿命。一般螺孔与销孔间、螺孔或销孔与凹模刃口间的距离取大于 2 倍孔径值，其最小许用值可参考表 2－16。

表 2－16　螺孔、销孔之间及至刃壁的最小距离　　mm

简　图								
螺钉孔		M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24
A	淬火	10	12	14	16	20	25	30
	不淬火	8	10	11	13	16	20	25
B	淬火	12	14	17	19	24	28	35

续表 2－16

螺钉孔		M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24
C	淬火	5						
	不淬火	3						
销钉孔		ϕ4	ϕ6	ϕ8	ϕ10	ϕ12	ϕ16	ϕ20
D	淬火	7	9	11	12	15	16	20
	不淬火	4	6	7	8	10	13	16

2）凹模刃口的结构形式

冲裁凹模刃口形式有直筒形和锥形两种，选用时主要根据冲裁件的形状、厚度、尺寸精度以及模具的具体结构来决定。表 2－17 列出了冲裁凹模刃口的形式、主要参数、特点及应用，可供设计选用时参考。

表 2－17　冲裁凹模的刃口形式

刃口形式	序　号	简　图	特点及适用范围
直筒形刃口	1		1. 刃口为直通式，强度高，修磨后刃口尺寸不变 2. 用于冲裁大型或精度要求较高的零件，模具装有反向顶出装置，不适于下漏料（或零件）的模具
	2	h1　β	1. 刃口强度较高，修磨后刃口尺寸不变 2. 凹模内易积聚废料或冲裁件，尤其间隙小时刃口直壁部分磨损较快 3. 用于冲裁形状复杂精度要求较高的零件
	3	h　0.5～1	1. 特点同序号 2，且刃口直壁下面的扩大部分可使凹模加工简单，但采用下漏料方式时刃口强度不如序号 2 的刃口强度高 2. 用于冲裁形状复杂，精度要求较高的中小型零件，也可用于装有反向顶出装置的模具
	4	20°～30°　2～5　2～3.5　1°30′	1. 凹模硬度较低（有时可不淬火），一般为 40HRC 左右，可用手锤敲击刃口外侧斜面以调整冲裁间隙 2. 用于冲裁薄而软的金属或非金属零件
锥形刃口	5	α	1. 刃口强度较差，修磨后刃口尺寸略有增大 2. 凹模内不易积存废料或冲裁件，刃口内壁磨损较慢 3. 用于冲裁形状简单，精度要求不高的零件
	6	α　h　β	1. 特点同序号 5 2. 可用于冲裁形状较复杂的零件

续表 2－17

	材料厚度 t/mm	α/(′)	β/(°)	刃口高度 h/mm	备　注
主要参数	<0.5 0.5～1 1～2.5	15	2	≥4 ≥5 ≥6	α 值适用于钳工加工。采用线切割加工时，可取 $\alpha=5'\sim20'$
	2.5～6 >6	30	3	≥8 ≥10	

3）凹模轮廓尺寸的确定

凹模轮廓尺寸包括凹模板的平面尺寸 $L\times B$(长×宽)及厚度尺寸 H。从凹模刃口至凹模外边缘的最短距离称为凹模的壁厚 c。对于简单对称形状刃口的凹模，由于压力中心即为刃口对称中心，所以凹模的平面尺寸即可沿刃口型孔向四周扩大一个凹模壁厚来确定，如图 2－39 所示，即

$$L = l + 2c \qquad (2-34)$$

$$B = b + 2c \qquad (2-35)$$

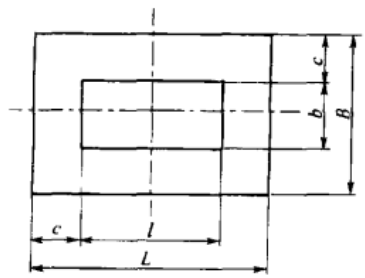


图 2－39　凹模轮廓尺寸的计算

式中：l—— 沿凹模长度方向刃口型孔的最大距离，mm；

b—— 沿凹模宽度方向刃口型孔的最大距离，mm；

c——凹模壁厚，mm，主要考虑布置螺孔与销孔的需要，同时也要保证凹模的强度和刚度，计算时可参考表 2－18 选取。

表 2－18　凹模壁厚 c　　mm

条料宽度	冲裁件材料厚度 t			
	≤0.8	>0.8～1.5	>1.5～3	>3～5
≤40	20～25	22～28	24～32	28～36
>40～50	22～28	24～32	28～36	30～40
>50～70	28～36	30～40	32～42	35～45
>70～90	32～42	35～45	38～48	40～52
>90～120	35～45	40～52	42～54	45～58
>120～150	40～50	45～58	45～58	48～62

注：1 冲裁件料薄时取表中较小值，反之取较大值；

2 型孔为圆弧时取小值，为直边时取中值，为尖角时取大值。

凹模板的厚度主要是从螺钉旋入深度和凹模刚度的需要考虑的，一般应不小于 8 mm。随着凹模板平面尺寸的增大，其厚度也应相应增大。

整体式凹模板的厚度可按以下经验公式估算

$$H = K_1 K_2 \sqrt[3]{0.1F} \qquad (2-36)$$

式中：F—— 冲裁力，N；

K_1—— 凹模材料修正系数，合金工具钢取 $K_1=1$，碳素工具钢取 $K_1=1.3$；

K_2—— 凹模刃口周边长度修正系数，可参考表 2－19 选取。

表 2-19　凹模刃口周边长度修正系数 K_2

刃口长度/mm	修正系数 K_2	刃口长度/mm	修正系数 K_2
<50	1	150～300	1.37
50～75	1.12	300～500	1.5
75～150	1.25	>500	1.6

以上算得的凹模轮廓尺寸 $L\times B\times H$，当设计标准模具时，或虽然设计非标准模具，凹模板毛坯需要外购时，应将计算尺寸 $L\times B\times H$ 按冲裁模国家标准中凹模板的系列尺寸进行修正，取接近的较大规格的尺寸。

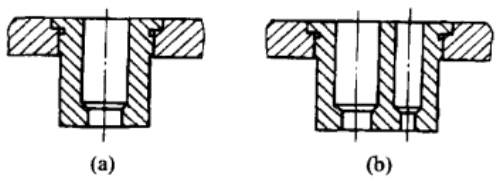


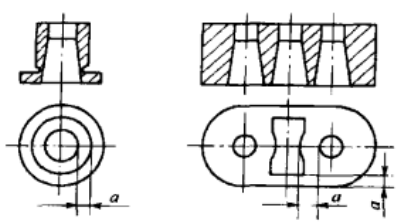
图 2-40　凸凹模结构及固定

(3) 凸凹模

凸凹模是复合模中的主要工作零件，工作端的内外缘都是刃口，一般内缘与凹模刃口结构形式相同，外缘与凸模刃口结构形式相同，图 2-40 为凸凹模的常见结构及固定形式。

由于凸凹模内外缘之间的壁厚是由冲裁件孔边距决定的，所以当冲裁件孔边距离较小时必须考虑凸凹模强度，凸凹模强度不够时就不能采用复合模冲裁。凸凹模的最小壁厚与冲裁模的结构有关：正装式复合模因凸凹模内孔不积存废料，胀力小，最小壁厚可小些；倒装式复合模的凸凹模内孔一般积存废料，胀力大，最小壁厚应大些。凸凹模的最小壁厚目前一般按经验数据确定：倒装式复合模可查表 2-20；对于正装复合模，冲裁件材料为黑色金属时取其料厚的 1.5 倍，但不应小于 0.7 mm，冲裁件材料为有色金属等软材料时取等于料厚的值，但不应小于 0.5 mm。

表 2-20　倒装式复合模的凸凹模最小壁厚　　mm

简　图											
材料厚度	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5
最小壁厚 a	1.4	1.8	2.3	2.7	3.2	3.6	4.0	4.4	4.9	5.2	5.8
材料厚度	2.8	3.0	3.2	3.5	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0
最小壁厚 a	6.4	6.7	7.1	7.6	8.1	8.5	8.8	9.1	9.4	9.7	10

(4) 凸模与凹模的镶拼结构形式及固定

对于大、中型和形状复杂、局部薄弱的凸模或凹模，如果采用整体式结构，往往给锻造、机械加工及热处理带来困难，而且当发生局部损坏时，会造成整个凸、凹模的报废。因此，常采用镶拼结构的凸、凹模。

1）镶拼结构形式

镶拼结构有镶接和拼接两种。镶接是将局部易磨损的部分另做一块，然后镶入凸、凹模本体或固定板内，如图 2－41(a)(b)所示；拼接是将整个凸、凹模根据形状分段成若干块，再分别将各块加工后拼接起来，如图 2－41(c)(d)所示。

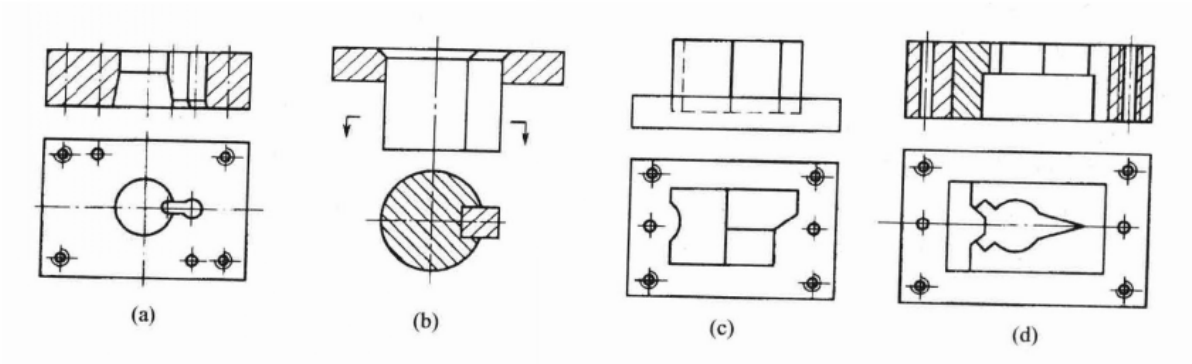


图 2－41　凸、凹模镶拼结构

2）镶块结构的固定方法

① 平面式固定　即把拼块直接用螺钉、销钉紧固定位于固定板或模座平面上，如图 2－42(a)所示。这种固定方法主要用于大型的镶拼凸、凹模。

② 嵌入式固定　即把各拼块拼合后，采用过渡配合(K7/h6)嵌入固定板凹槽内，再用螺钉紧固，如图 2－42(b)所示。这种方法多用于中小型凸、凹模镶块的固定。

③ 压入式固定　即把各拼块拼合后，采用过盈配合(U8/h7)压入固定板内，如图 2－42(c)所示。这种方法常用于形状简单的小型镶块的固定。

④ 斜楔式固定　即利用斜楔和螺钉把各拼块固定在固定板上，如图 2－42(d)所示。拼块镶入固定板的深度应不小于拼块厚度的 1/3。这种方法也是中小型凹模镶块(特别是多镶块)常用的固定方法。

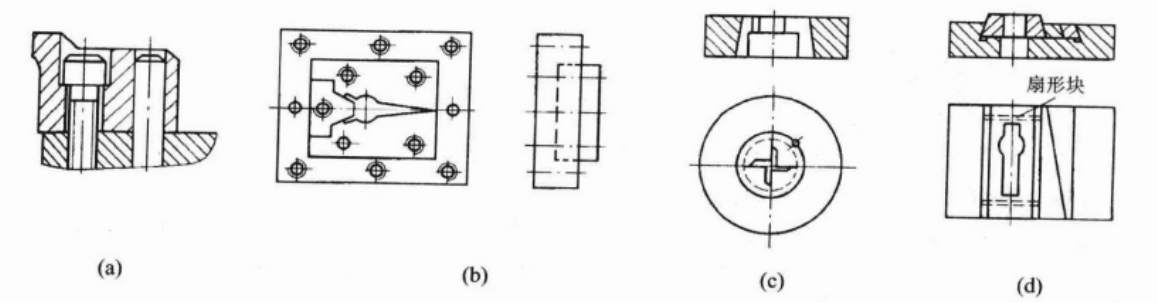


图 2－42　镶拼结构的固定

此外，还有用粘结剂浇注固定方法。

2. 定位零件

定位零件的作用是使坯料或工序件在模具上相对凸、凹模有正确的位置。定位零件的结构形式很多，用于对条料进行定位的定位零件有挡料销、导料销、导料板、侧压装置、导正销、侧

刃等；用于对工序件进行定位的定位零件有定位销、定位板等。

定位零件基本上都已标准化，可根据坯料或工序件形状、尺寸、精度和模具的结构形式以及生产率要求等选用相应的标准。

(1) 挡料销

挡料销的作用是挡住条料搭边或冲裁件轮廓以限定条料送进的距离。根据挡料销的工作特点及作用分为固定挡料销、活动挡料销和始用挡料销。

1) 固定挡料销

固定挡料销一般固定在位于下模的凹模上。国家标准中的固定挡料销结构如图 2－43(a)所示，该类挡料销广泛用于冲压中、小型冲裁件时的挡料定距，其缺点是销孔距凹模孔口较近，削弱了凹模的强度。图 2－43(b)所示是一种部颁标准中的钩形挡料销，这种挡料销的销孔距凹模孔口较远，不会削弱凹模的强度，但为了防止钩头在使用过程中发生转动，需增加防转销，从而增加了制造工作量。

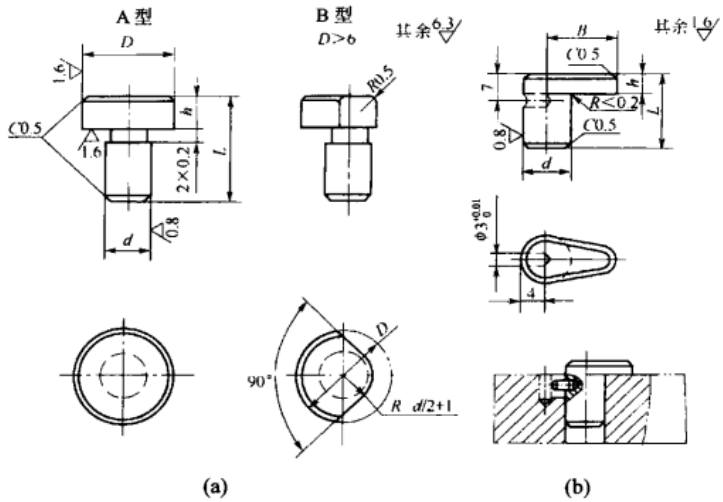


图 2－43　固定挡料销

2) 活动挡料销

国家标准中的活动挡料销结构如图 2－44 所示，其中图 2－44(a)为压缩弹簧弹顶挡料销；图 2－44(b)为扭簧弹顶挡料销；图 2－44(c)为橡胶弹顶挡料销；图 2－44(d)为回带式挡料装置，这种挡料销对着送料方向带有斜面，送料时搭边碰撞斜面使挡料销跳起并越过搭边，然后将条料后拉，挡料销便挡住搭边而定位，即每次送料都要先推后拉，作方向相反的两个动作，操作比较麻烦。采用哪一种结构形式的挡料销需根据卸料方式、卸料装置具体结构及操作等因素决定。

3) 始用挡料销

在条料开始送进时起定位作用，以后送进时不再起定位作用。采用始用挡料销的目的是为了提高材料的利用率。图 2－45 所示为国家标准的始用挡料销。

始用挡料销一般用于以导料板送料导向的级进模(图 2－29)或单工序模(图 2－25)中。一副模具中用几个始用挡料销，取决于冲裁件的排样方法和凹模上的工位安排。

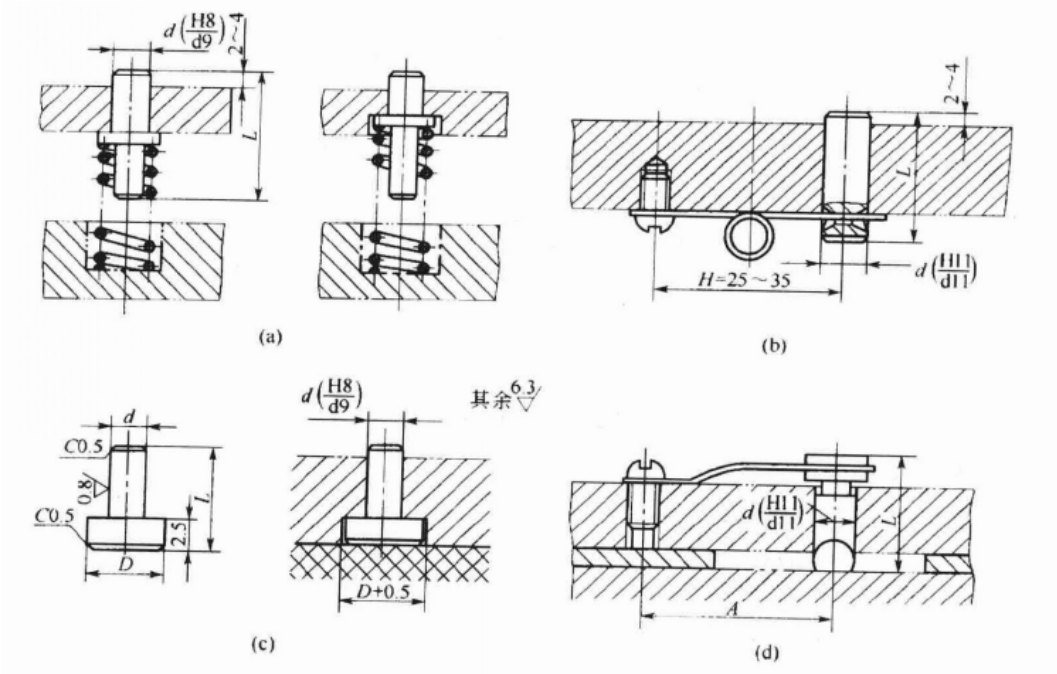


图 2－44　活动挡料销

（2）导料销

导料销的作用是保证条料沿正确的方向送进。导料销一般设 2 个，并位于条料的同一侧，条料从右向左送进时位于后侧，从前向后送进时位于左侧。导料销可设在凹模面上（一般为固定式的），也可设在弹压卸料板上（一般为活动式的），还可设在固定板或下模座上，用挡料螺栓代替。

固定式和活动式导料销的结构与固定式和活动式挡料销基本一样，可从标准中选用。导料销多用于单工序模或复合模中。

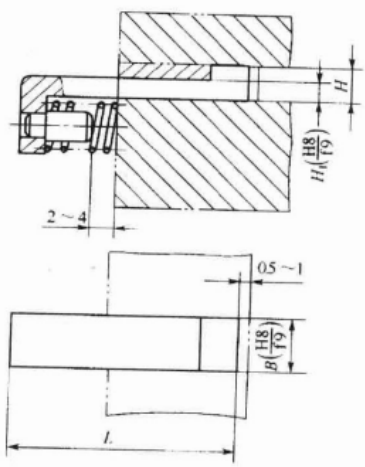


图 2－45　始用挡料销

（3）导料板

导料板的作用与导料销相同，但采用导料板定位时操作更方便，在采用导板导向或固定卸料的冲裁模中必须用导料板导向。导料板一般设在条料两侧，其结构有两种：一种是国家标准结构，如图 2－46(a)所示，它与导板或固定卸料板分开制造；另一种是与导板或固定卸料板制成整体的结构，如图 2－46(b)所示。为使条料沿导料板顺利通过，两导料板间距离应略大于条料最大宽度，导料板厚度 H 取决于挡料方式和板料厚度，以便于送料为原则。

（4）导正销

使用导正销的目的是消除送料时用挡料销、导料板（或导料销）等定位零件粗定位时的误差，保证冲裁件在不同工位上冲出的内形与外形之间的相对位置公差要求。导正销主要用于级进模（图 2－29），也可用于单工序模。导正销通常设置在落料凸模上，可与挡料销配合使

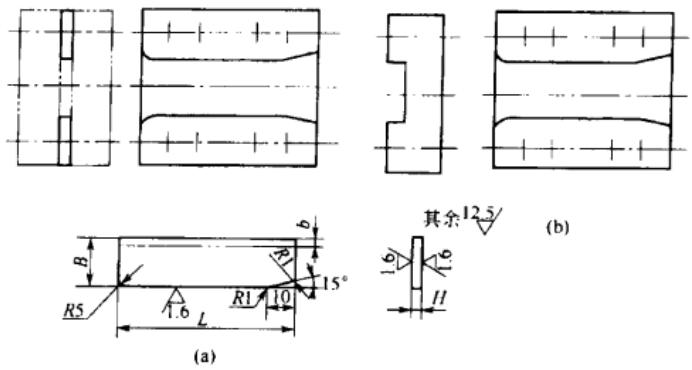


图 2－46　导料板结构

用，也可与侧刃配合使用。

国家标准的导正销结构形式如图 2－47 所示，其中 A 型用于导正 $d=2\sim12$ mm 的孔；B 型用于导正 $d\leqslant10$ mm 的孔，也可用于级进模上对条料工艺孔的导正，导正销背部的压缩弹簧在送料不准确时可避免导正销的损坏；C 型用于导正 $d=4\sim12$ mm 的孔，导正销拆卸方便，且凸模刃磨后导正销长度可以调节；D 型可用于导正 $d=12\sim50$ mm 的孔。

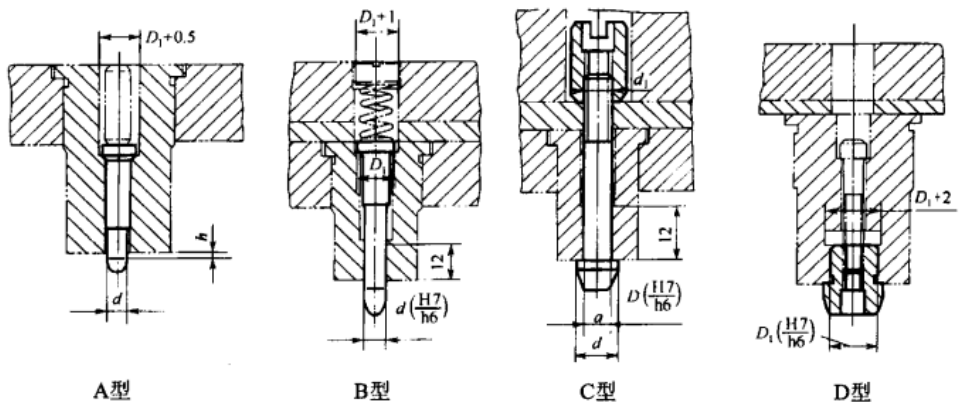


图 2－47　导正销结构

为了使导正销工作可靠，导正销的直径一般应大于 2 mm。当冲裁件上的导正孔径小于 2 mm时，可在条料上另冲直径大于 2 mm 的工艺孔进行导正。

由于导正销常与挡料销配合使用，挡料销只起粗定位作用，所以挡料销的位置应能保证导正销在导正过程中条料有被前推或后拉少许的可能。挡料销与导正销的位置关系如图 2－48 所示。

(5) 侧压装置

如果条料的公差较大，为避免条料在导料板中偏摆，使最小搭边得到保证，应在送料方向的一侧设置侧压装置，使条料始终紧靠导料板的另一侧送料。

侧压装置的结构形式如图 2－49 所示。其中图 2－49(a)是弹簧式侧压装置，其侧压力较大，常用于被冲材料较厚的冲裁模；图 2－49(b)是簧片侧压装置，侧压力较小，常用于被冲材料

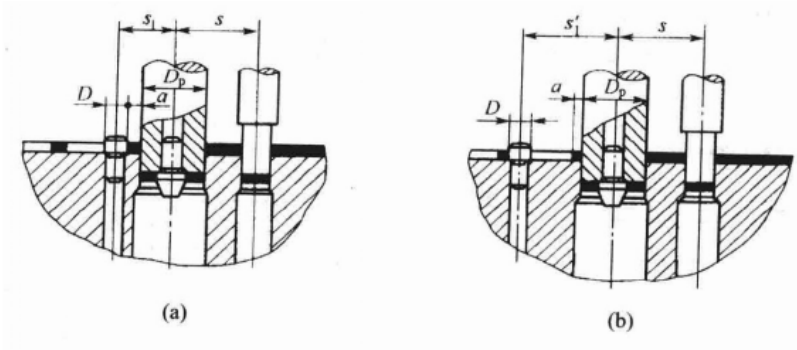


图 2－48　挡料销与导正销的位置关系

厚度为 0.3～1 mm 的冲裁模；图 2－49(c)是簧片压块式侧压装置，其应用场合同图 2－49(b)；图 2－49(d)是板式侧压装置，侧压力大且均匀，一般装在模具进料一端，适用于侧刃定距的级进模。上述 4 种结构形式中，图 2－49(a)和图 2－49(b)这两种形式已经标准化。

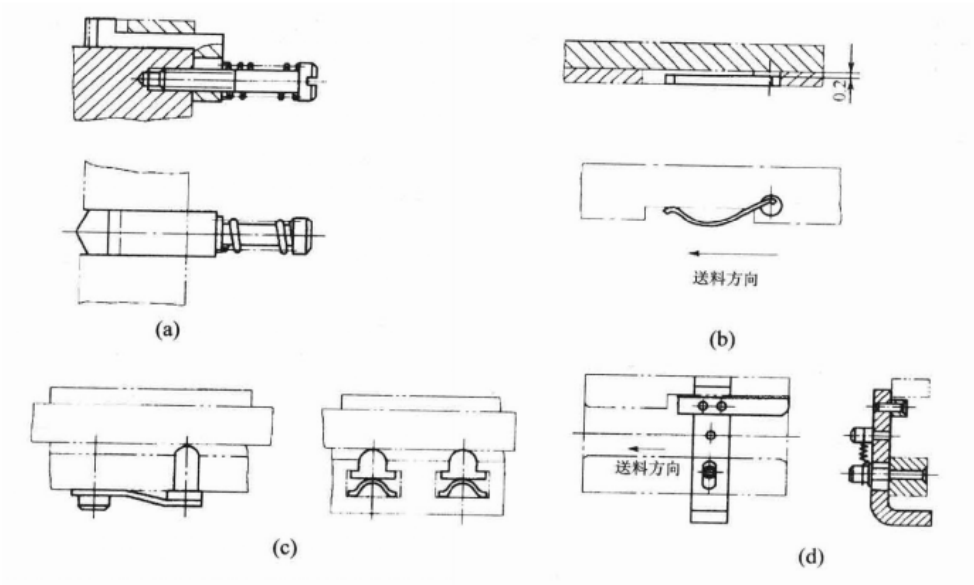


图 2－49　侧压装置

在一副模具中，侧压装置的数量和设置位置应视实际需要而定。但对于料厚小于0.3 mm及采用辊轴自动送料装置的模具不宜采用侧压装置。

(6) 侧刃定距

图 2－31 所示为使用侧刃定距的级进模。国家标准中的侧刃结构如图 2－50 所示，Ⅰ型侧刃的工作端面为平面，Ⅱ型侧刃的工作端面为台阶面。台阶面侧刃在冲切前凸出部分先进入凹模起导向作用，可避免因侧刃单边冲切而产生的侧压力导致侧刃损坏。Ⅰ型和Ⅱ型侧刃按断面形状分为长方形侧刃和成形侧刃，长方形侧刃(ⅠA 型、ⅡA 型)结构简单，易于制造，但当侧刃刃口尖角磨损后，在条料侧边形成的毛刺会影响送进和定位的准确性，如图 2－51(a)所示。成形侧刃(ⅠB 型、ⅡB 型、ⅠC 型、ⅡC 型)如果磨损后在条料侧边形成的毛刺离开了导料板和侧刃挡块的定位面，因而不影响送进和定位的准确性，如图 2－51(b)所示，但这种侧刃消耗材料增多，结构

较复杂，制造较麻烦。长方形侧刃一般用于板料厚度小于 1.5 mm、冲裁件精度要求不高的送料定距；成形侧刃用于板料厚度小于 0.5 mm、冲裁件精度要求较高的送料定距。

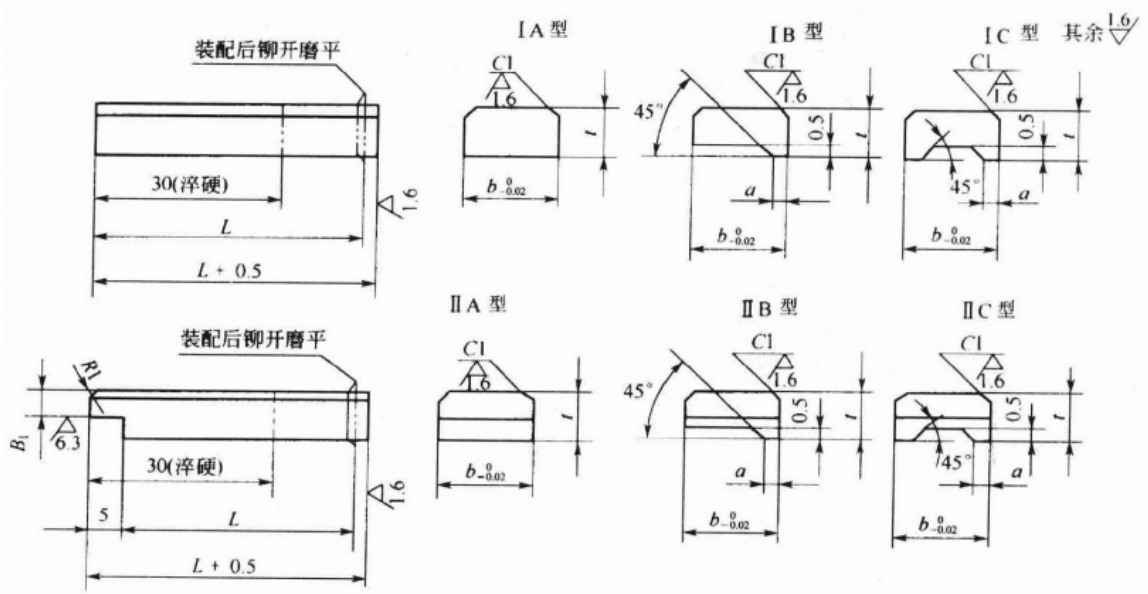


图 2-50　侧刃结构

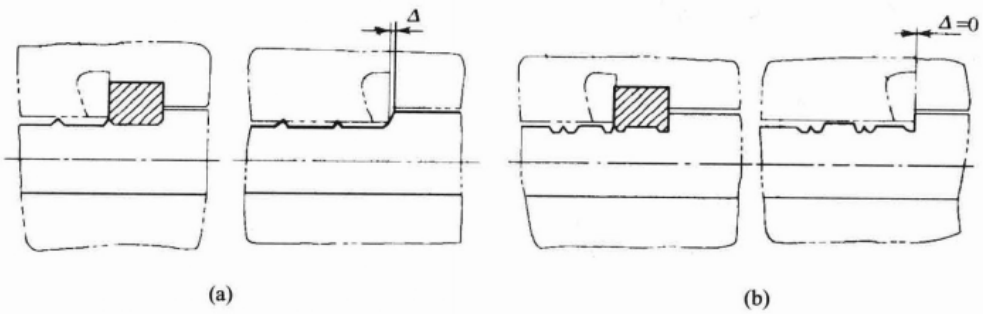


图 2-51　侧刃定位误差比较

生产实际中，还可采用既可起定距作用，又可成形冲裁件部分轮廓的特殊侧刃，如图 2-52 所示中的侧刃 1 和 2。

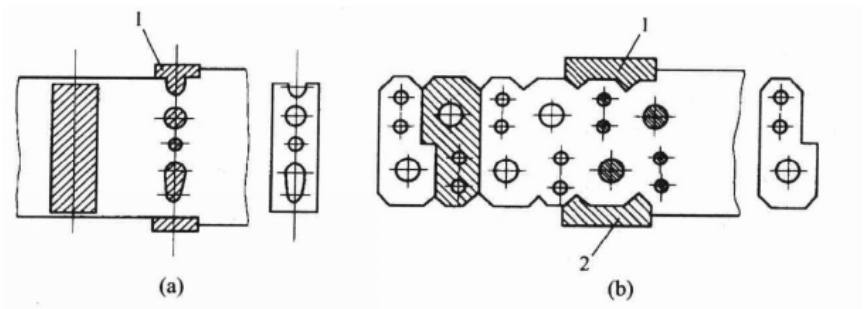
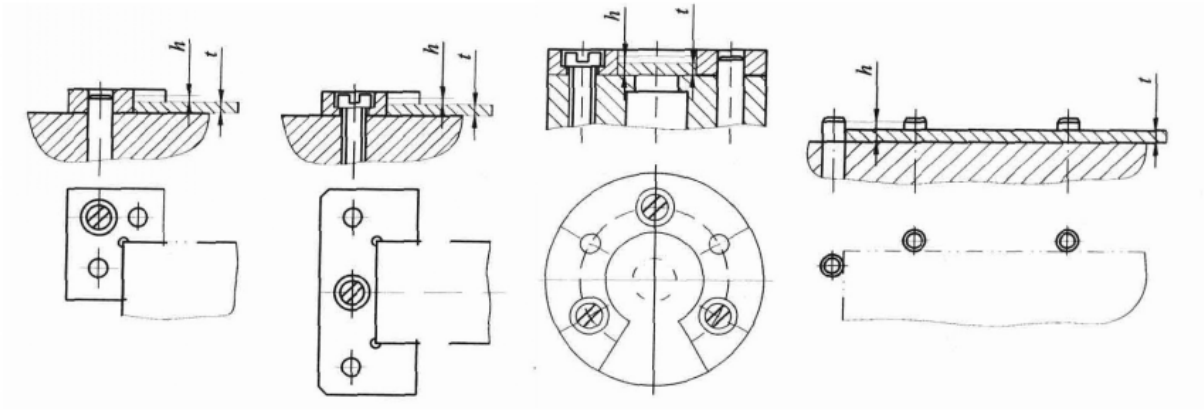


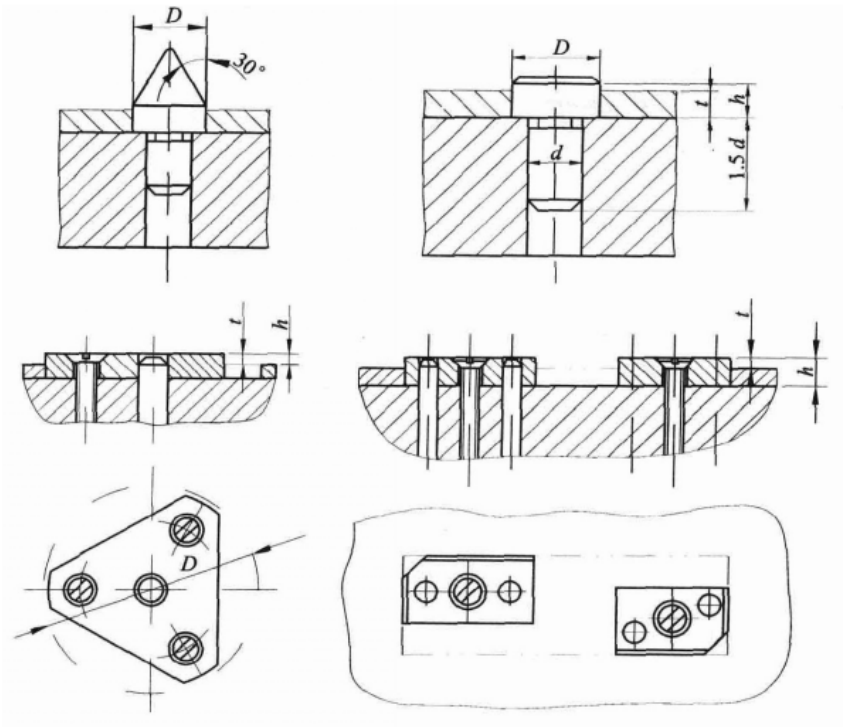
图 2-52　特殊侧刃

(7) 定位板与定位销

定位板和定位销是作为单个坯料或工序件的定位用。常见的定位板和定位销的结构形式如图 2－53 所示，其中图 2－53(a)是以坯料或工序件的外缘作定位基准；图 2－53(b)是以坯料或工序件的内缘作定位基准。具体选择哪种定位方式，应根据坯料或工序件的形状、尺寸大小和冲压工序性质等决定。定位板的厚度或定位销的定位高度应比坯料或工序件厚度大 1～2 mm。



(a)



(b)

图 2－53　定位板与定位销的结构形式

3. 卸料与出件装置

卸料与出件装置的作用是当冲裁模完成一次冲压之后，把冲裁件或废料从模具工作零件上卸下来，以便冲压工作继续进行。通常把冲裁件或废料从凸模上卸下称为卸料，把冲裁件或废料从凹模中卸下称为出件。

(1) 卸料装置

卸料装置按卸料方式分为固定卸料装置、弹性卸料装置和废料切刀 3 种。

1) 固定卸料装置

固定卸料装置仅由固定卸料板构成，一般安装在下模的凹模上。生产中常用固定卸料装置的结构如图 2－54 所示，其中图 2－54(a)和图 2－54(b)用于平板件的冲裁卸料，图 2－54(c)和图 2－54(d)用于经弯曲或拉深等成形后的工序件的冲裁卸料。

固定卸料板的平面外形尺寸一般与凹模板相同，其厚度可取凹模厚度的 0.8～1 倍。当卸料板仅起卸料作用时，凸模与卸料板的双边间隙一般取 0.2～0.5 mm(板料薄时取小值，板料厚时取大值)。当固定卸料板兼起导板作用时，凸模与导板之间一般按 H7/h6 配合，但应保证导板与凸模之间的间隙小于凸、凹模之间的冲裁间隙，以保证凸、凹模的正确配合。

固定卸料装置卸料力大，卸料可靠，但冲压时坯料得不到压紧，因此常用于冲裁坯料较厚(大于 0.5 mm)、卸料力大、平直度要求不太高的冲裁件。

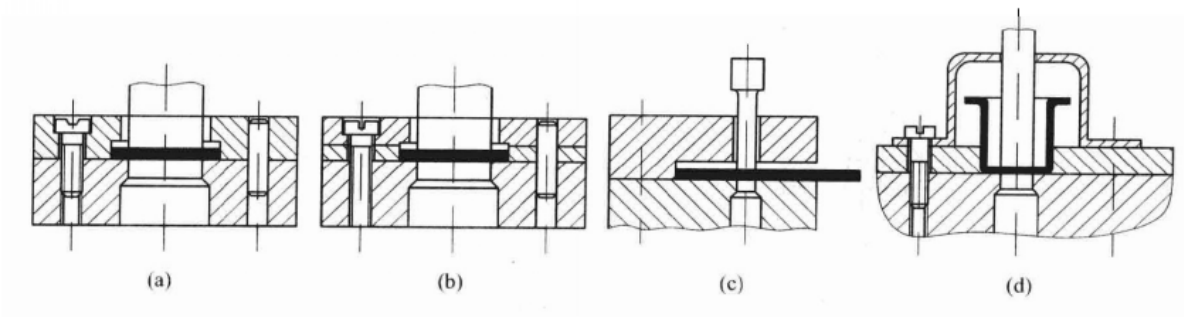


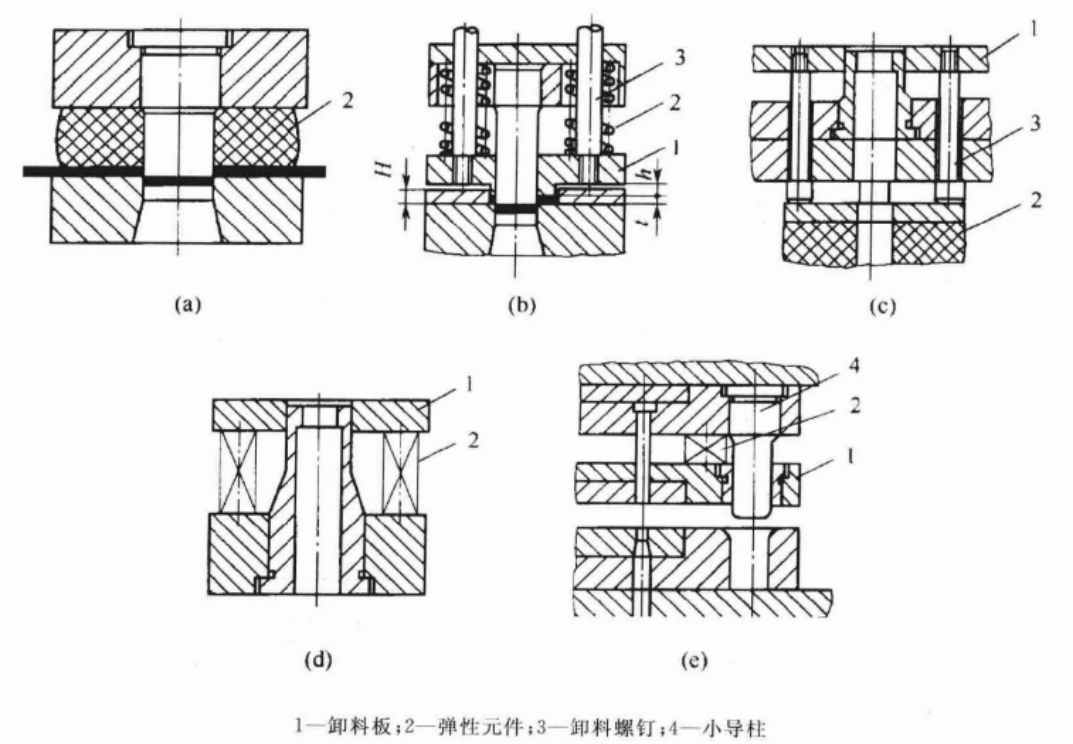
图 2－54　固定卸料装置

2) 弹性卸料装置

弹性卸料装置由卸料板、卸料螺钉和弹性元件(弹簧或橡胶)组成。

常用的弹性卸料装置的结构形式如图 2－55 所示，其中图 2－55(a)是直接用弹性橡胶卸料，用于简单冲裁模；图 2－55(b)是用导料板导向的冲裁模使用的弹性卸料装置，卸料板凸台部分的高度 h 应比导料板厚度 H 小(0.1～0.3)t(t 为坯料厚度)，即 $h=H-(0.1\sim0.3)t$；图 2－55(c)和图 2－55(d)是倒装式冲裁模上用的弹性卸料装置，其中图 2－55(c)是利用安装在下模下方的弹顶器作弹性元件，卸料力大小容易调节；图 2－55(e)为带小导柱的弹性卸料装置，卸料板由小导柱导向，可防止卸料板产生水平摆动，从而保护小凸模不被折断，多用于小孔冲裁模。

弹性卸料板的平面外形尺寸等于或稍大于凹模板尺寸，厚度取凹模厚度的 0.6～0.8 倍。卸料板与凸模的双边间隙根据冲裁件料厚确定，一般取 0.1～0.3 mm(料厚时取大值，料薄时取小值)。在级进模中，特别小的冲孔凸模与卸料板的双边间隙可取 0.3～0.5 mm。当卸料板对凸模起导向作用时，卸料板与凸模间按 H7/h6 配合，但其间隙应比凸、凹模间隙小。此外，为便于可靠卸料，在模具开启状态时，卸料板工作平面应高出凸模刃口端面 0.3～0.5 mm。



1—卸料板；2—弹性元件；3—卸料螺钉；4—小导柱

图 2－55　弹性卸料装置

卸料螺钉一般采用标准的阶梯形螺钉，其数量按卸料板形状与大小确定，卸料板为圆形时常用 3～4 个；为矩形时一般用 4～6 个。卸料螺钉的直径根据模具大小可选 8～12 mm，各卸料螺钉的长度应一致，以保证装配后卸料板水平和均匀卸料。

弹性卸料装置可装于上模或下模，依靠弹簧或橡皮的弹力来卸料，卸料力不太大，但冲压时可兼起压料作用，故多用于冲裁料薄及平面度要求较高的冲裁件。

3）废料切刀

废料切刀是在冲裁过程中将冲裁废料切断成数块，从而实现卸料的一种卸料零件。废料切刀卸料的原理如图 2－56 所示，废料切刀安装在下模的凸模固定板上，当上模带动凹模下压进行切边时，同时把已切下的废料压向废料切刀上，从而将其切开卸料。这种卸料方式不受卸料力大小限制，卸料可靠，多用于大型冲裁件的落料或切边冲裁模上。

废料切刀已经标准化，可根据冲裁件及废料尺寸、料厚等进行选用。废料切刀的刃口长度应比废料宽度大些，安装时切刀刃口应比凸模刃口低，其值 h 大约为板料厚度的 2.5～4 倍，且不小于 2 mm。冲裁件形状简单时，一般设 2 个废料切刀，冲裁件形状复杂时，可设多个废料切刀或采用弹性卸料与废料切刀联合卸料。

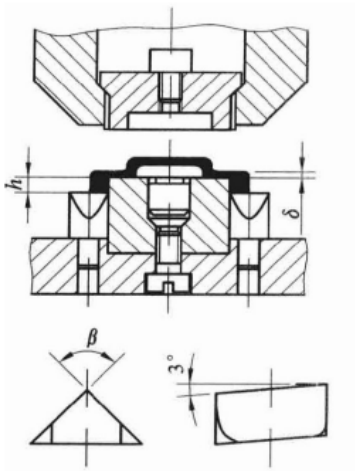


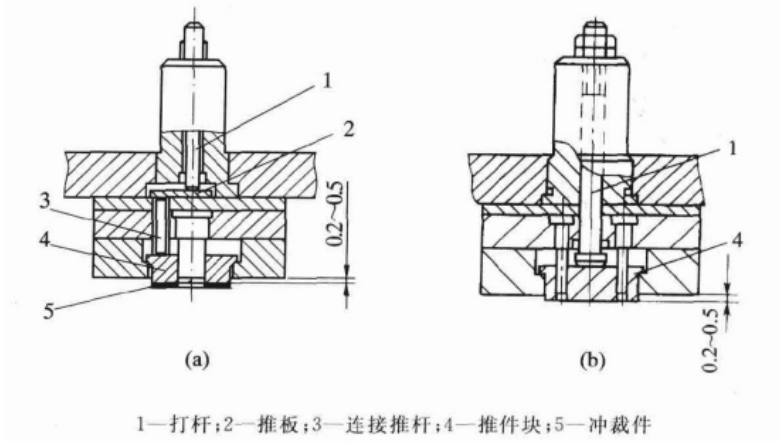
图 2－56　废料切刀工作原理

(2) 出件装置

出件装置的作用是从凹模内卸下冲裁件或废料。为了便于学习，把装在上模内的出件装置称为推件装置，装在下模内的出件装置称为顶件装置。

1) 推件装置

推件装置有刚性推件装置和弹性推件装置两种。图 2－57 所示为刚性推件装置，它是在冲压结束后上模回程时，利用压力机滑块上的打料杆撞击模柄内的打杆，将推力传至推件块而将凹模内的冲裁件或废料推出的。刚性推件装置的基本零件有推件块、杆、推板、连接推杆和打杆，如图 2－57(a)所示。当打杆下方投影区域内无凸模时，也可省去由连接推杆和推板组成的中间传递结构，而由打杆直接推动推件块，甚至直接由打杆推件，如图 2－57(b)所示。

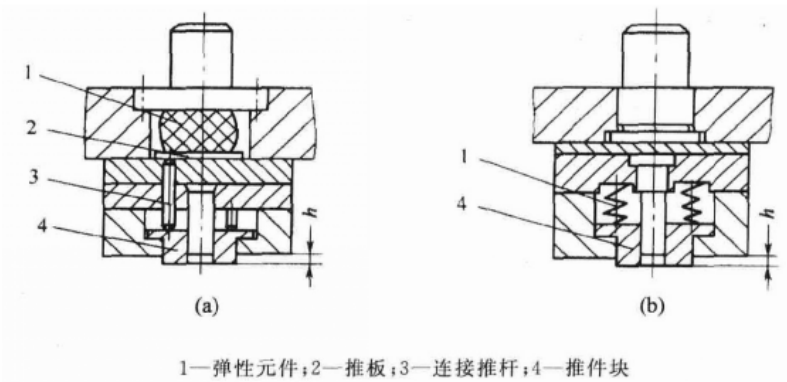


1—打杆；2—推板；3—连接推杆；4—推件块；5—冲裁件

图 2－57　刚性推件装置

刚性推件装置推件力大，工作可靠，所以应用十分广泛。打杆、推板、连接推杆等都已标准化，设计时可根据冲裁件结构形状、尺寸及推件装置的结构要求从标准中选取。

图 2－58 所示为弹性推件装置。与刚性推件装置不同的是，它是以安装在上模内的弹性元件的弹力来代替打杆给予推件块推件力。视模具结构的可能性，可把弹性元件装在推板之上，如图 2－58(a)所示，也可装在推件块之上，如图 2－58(b)所示。采用弹性推件装置时，可使板料处于压紧状态下分离，因而冲裁件的平直度较高。但开模时冲裁件易嵌入边料中，取件较烦，且受模具结构空间限制，弹性元件产生的弹力有限，所以主要适用于板料较薄且平直度要求较高的冲裁件。

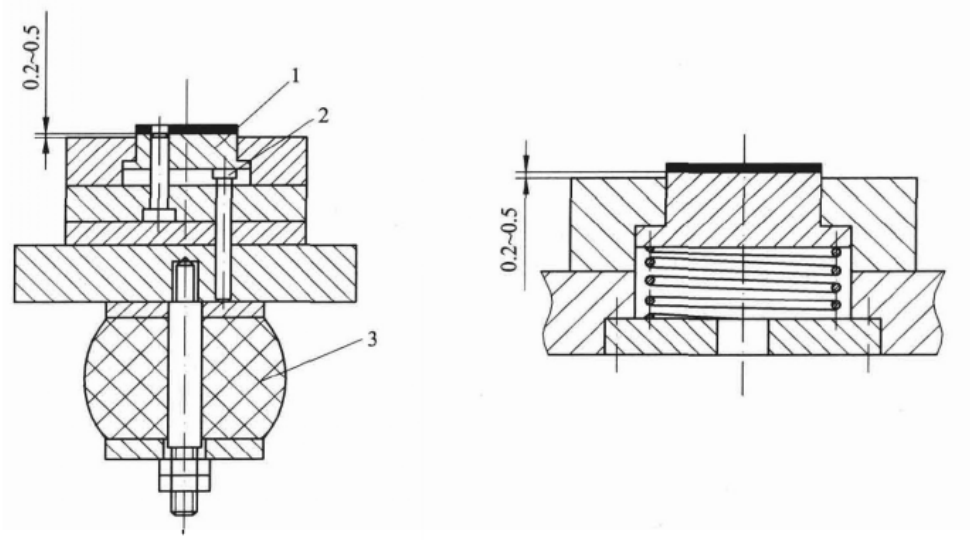


1—弹性元件；2—推板；3—连接推杆；4—推件块

图 2－58　弹性推件装置

2）顶件装置

顶件装置一般是弹性的，其基本零件是顶件块、顶杆和弹顶器，如 2－59(a)所示。弹顶器可做成通用的，其弹性元件可以是弹簧或橡胶。如图 2－59(b)所示直接在顶件块下方安放弹簧，可用于顶件力不大的场合。



1—顶件块；2—顶杆；3—弹顶器

图 2－59　弹性顶件装置

弹性顶件装置的顶件力容易调节，工作可靠，冲裁件平直度较高，但冲裁件也易嵌入边料，产生与弹性推件同样的问题。大型压力机本身具有气垫作弹顶器。

在推件和顶件装置中，推件块和顶件块工作时与凹模孔口配合并作相对运动，对它们的要求是：模具处于闭合状态时，其背后应有一定空间，以备修模和调整的需要；模具处于开启状态时，必须顺利复位，且工作面应高出凹模平面 0.2～0.5 mm，以保证可靠推件或顶件；与凹模和凸模的配合应保证顺利滑动，一般与凹模的配合为间隙配合，推件块或顶件块的外形配合面可按 h8 制造，与凸模的配合可呈较松的间隙配合，或根据料厚取适当间隙。

(3) 弹性元件的选用

在冲裁模卸料与出件装置中，常用的弹性元件是弹簧和橡胶。

1）弹簧的选用

在卸料与出件装置中，常用的弹簧是圆柱螺旋压缩弹簧。这种弹簧已标准化(GB 2089—1980)，设计时根据所需弹簧的压缩量和产生的压力按标准选用即可。

2）橡胶的选用

由于橡胶允许承受的载荷较大，并且安装调整灵活方便，因而是冲裁模中常用的弹性元件。冲裁模中用于卸料与出件的橡胶有合成橡胶和聚氨酯橡胶，其中聚氨酯的性能比合成橡胶优异，是常用的卸料与出件弹性元件。冲裁模标准中还专门规定了聚氨酯橡胶的规格与尺寸(GB 8267.9—1981)，选用很方便。

4. 模架及其零件

模架是上、下模座与导向零件的组合体。为了便于学习和选用标准，这里将冲裁模零件分类中的导向零件与属于支承固定零件中的上、下模座作为模架进行介绍。

(1) 模　架

冲裁模模架已经标准化。标准冲裁模模架主要有两大类：一类是由上、下模座和导柱、导套组成的导柱模模架；另一类是由弹压导板、下模座和导柱、导套组成的导板模模架。

1) 导柱模模架

导柱模模架按其导向结构形式分为滑动导向模架和滚动导向模架两种。滑动导向模架中导柱与导套通过小间隙或无间隙滑动配合，因导柱、导套结构简单，加工与装配方便，故应用最广泛；滚动导向模架中导柱通过滚珠与导套实现有微量过盈的无间隙配合(一般过盈量为0.01～0.02 mm)，导向精度高，使用寿命长，但结构较复杂，制造成本高，主要用于精密冲裁模、硬质合金冲裁模，高速冲裁模及其他精密冲裁模上。

根据导柱、导套在模架中的安装位置不同，滑动导向模架有对角导柱模架(图 2－60(a))、后侧导柱模架(图 2－60(b))、后侧导柱窄形模架(图 2－60(c))、中间导柱模架(图 2－60(d))、中间导柱圆形模架(图 2－60(e))和四导柱模架(图 2－60(f))等 6 种结构形式。滚动导向模架有对角导柱模架(图 2－61(a))、中间导柱模架(图 2－61(b))、四导柱模架(图 2－61(c))和后侧导柱模架(图 2－61(d))等 4 种结构形式。

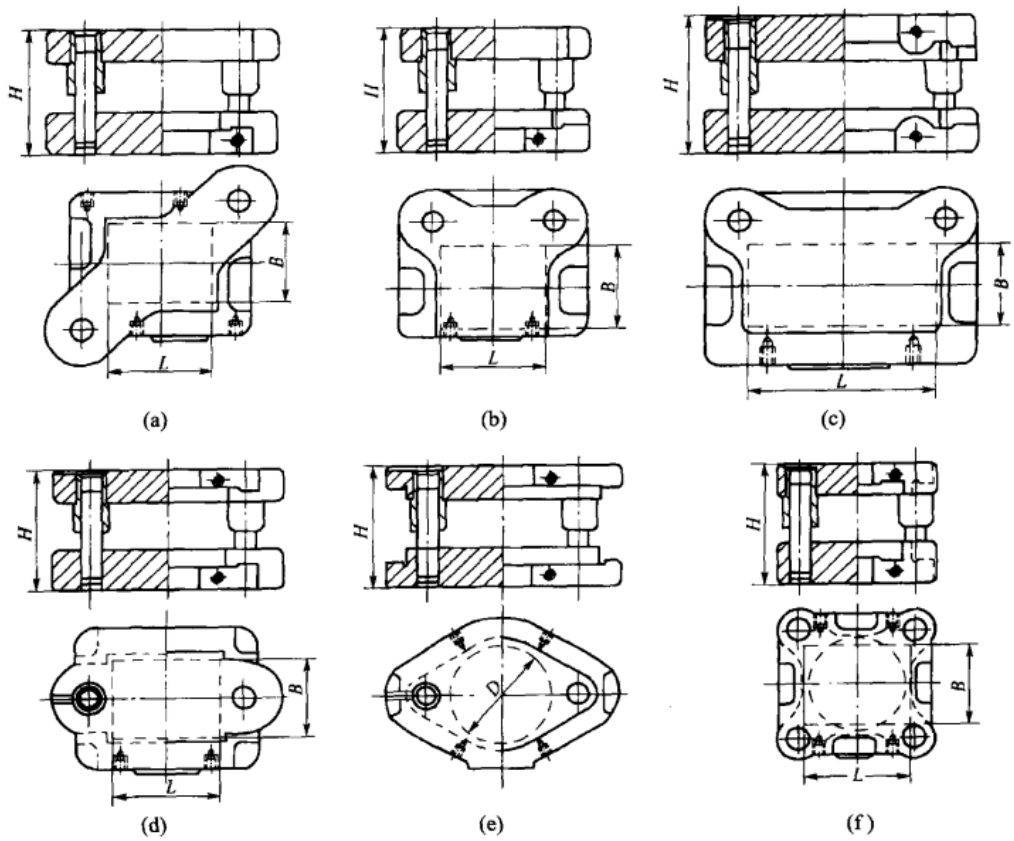


图 2－60　滑动导向模架

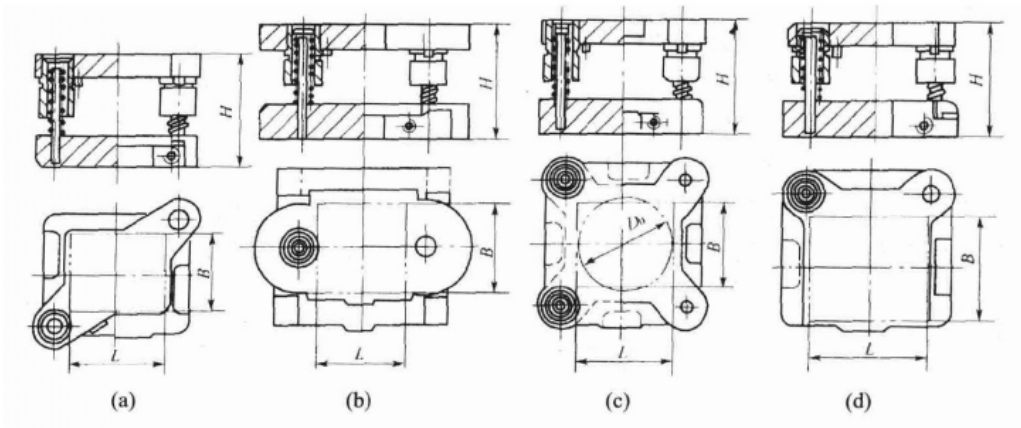


图 2-61　滚动导向模架

对角导柱模架、中间导柱模架和四导柱模架的共同特点是导向零件都是安装在模具的对称线上，滑动平稳，导向准确可靠。不同的是，对角导柱模架工作面的横向（左右方向）尺寸一般大于纵向（前后方向）尺寸，故常用于横向送料的级进模、纵向送料的复合模或单工序模；中间导柱模架只能纵向送料，一般用于复合模或单工序模；四导柱模架常用于精度要求较高或尺寸较大冲压件的冲压及大批量生产用的自动模。后侧导柱模架的特点是导向装置在后侧，横向和纵向送料都比较方便，但如有偏心载荷，压力机导向又不精确，就会造成上模偏斜，导向零件和凸、凹模都易磨损，从而影响模具寿命，一般用于较小的冲裁模。

2）导板模模架

导板模模架有对角导柱弹压导板模架（图 2-62(a)）和中间导柱弹压导板模架（图 2-62(b)）两种。导板模模架的特点是：弹压导板对凸模起导向作用，并与下模座以导柱、导套为导向构成整体结构；凸模与固定板是间隙配合而不是过渡配合，因而凸模在固定板中有一定的浮动量，这样的结构形式可以起保护凸模的作用。因而导板模模架一般用于带有细小凸模的级进模。

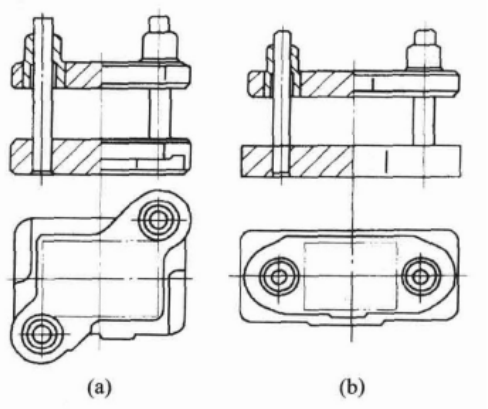


图 2-62　导板模架

国家标准将模架精度分为 0Ⅰ级、Ⅰ级、0Ⅱ级、Ⅱ级和Ⅲ级。其中Ⅰ级、Ⅱ级和Ⅲ级为滑动导向模架用精度，0Ⅰ级和 0Ⅱ级为滚动导向模架用精度。各级精度对导柱导套的配合精度、上模座上平面对下模座下底面的平行度、导柱导套的轴心线对上模座上平面与下模座下底面的垂直度等都规定了公差值及检验方法。这些规定保证了整个模架具有一定的精度，加上工作零件的制造精度和装配精度达到一定的要求后，整个模具达到一定的精度就有了基本的保证。

标准模架的选用包括 3 个方面：根据冲件形状、尺寸、精度、模具种类及条料送进方向等选择模架的类型；根据凹模周界尺寸和闭合高度要求确定模架的大小规格；根据冲件精度、模具工作零件配合精度等确定模架的精度。

(2) 导向零件

对批量较大、公差要求较高的冲件，为保证模具有较高的精度和寿命，一般都采用导向零件对上、下模进行导向，以保证上模相对于下模的正确运动。导向零件有导柱、导套、导板，并且都已经标准化，但生产中最常用的是导柱和导套。

图 2－63 所示为常用的标准导柱结构形式，其中 A 型和 B 型导柱结构较简单，但与模座为过盈配合(H7/r6)，装拆麻烦，如图 2－63(a)(b)所示；A 型和 B 型可卸导柱通过锥面与衬套配合并用螺钉和垫圈紧固，衬套再与模座以过渡配合(H7/m6)并用压板和螺钉紧固，其结构较复杂，制造麻烦，但导柱磨损后可及时更换，便于模具维修和刃磨，如图 2－63(c)(d)所示。为了使导柱顺利进入导套，导柱顶部一般均以圆弧过渡或以 30°锥面过渡。

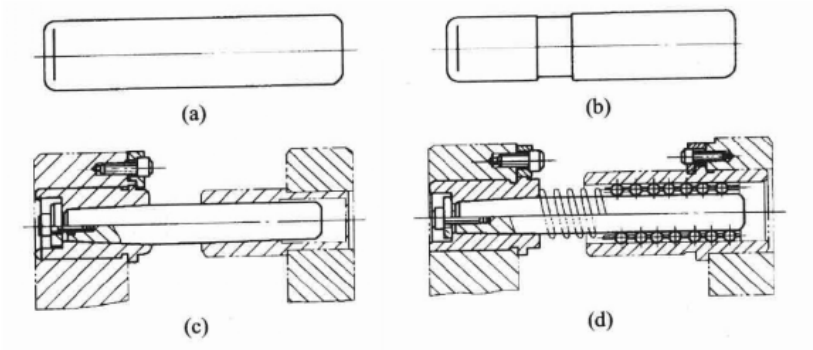


图 2－63　导柱结构形式

图 2－64 所示为常用的标准导套结构形式。其中 A 型(图(a))和 B 型(图(b))导套与模座为过盈配合(H7/r6)，与导柱配合的内孔开有贮油环槽，以便贮油润滑，扩大的内孔是为了避免导套与模座过盈配合时孔径缩小而影响导柱与导套的配合；C 型(图(c))导套与模座也用过渡配合(H7/m6)并用压板与螺钉紧固，磨损后便于更换或维修。

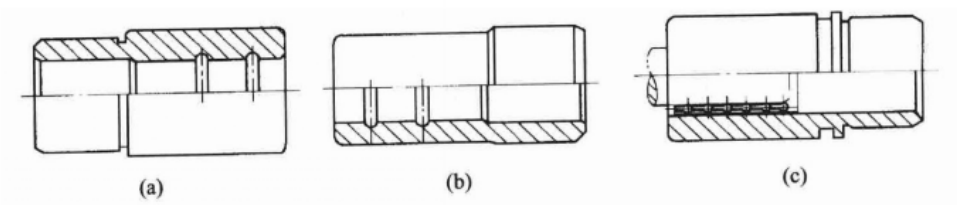


图 2－64　导套结构形式

A 型导柱、B 型导柱、A 型可卸导柱一般与 A 型或 B 型导套配套用于滑动导向，导柱与导套按 H7/h6 或 H7/h5 配合，但应注意使其配合间隙小于冲裁间隙。B 型可卸导柱的公差和表面粗糙度 R_a 值较小，一般与 C 型导套配套用于滚动导向，导柱与导套之间通过滚珠实现有微量过盈的无间隙配合，且滑动摩擦磨损较小，因而是一种精度高、寿命长的精密导向装置。滚动导向装置中，滚珠用保持器隔离而均匀排列，并用弹簧托起使之保持在导柱导套相配合的部位，工作时导柱与导套之间不允许脱离。

导柱、导套的尺寸规格根据所选标准模架和模具实际闭合高度确定，但还应符合图 2－65 要求，并保证有足够的导向长度。

（3）上、下模座

上、下模座的作用是直接或间接地安装冲裁模的所有零件，分别与压力机的滑块和工作台连接，以传递压力。因此，上、下模座的强度和刚度是主要考虑的问题。一般情况下，模座因强度不够而产生破坏的可能性不大，但若刚度不够，工作时会产生较大的弹性变形，导致模具的工作零件和导向零件迅速磨损。

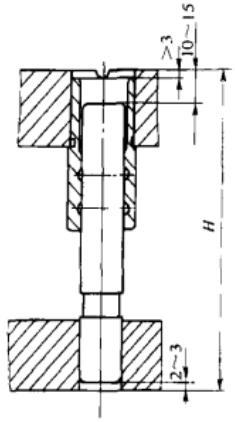


图 2－65　导柱与导套安装尺寸要求

设计冲裁模时，模座的尺寸规格一般根据模架类型和凹模周界尺寸从标准中选取。如果标准模座不能满足设计要求，可参考标准设计。设计时应注意以下几点。

① 模座的外形尺寸根据凹模周界尺寸和安装要求确定。对于圆形模座，其直径应比凹模板直径大 30～70 mm；对于矩形模座其长度应比凹模板长度大 40～70 mm，而宽度可以等于或略大于凹模板宽度，但应考虑有足够安装导柱、导套的位置。模座的厚度一般取凹模板厚度的 1.0～1.5 倍，考虑受力情况，上模座厚度可比下模座厚度小 5～10 mm。对于大型非标准模座，还必须根据实际需要，按铸件工艺性要求和铸件结构设计规范进行设计。

② 所设计的模座必须与所选压力机工作台和滑块的有关尺寸相适应，并进行必要的校核。如下模座尺寸应比压力机工作台孔或垫板孔尺寸每边大 40～50 mm 等。

③ 上、下模座的导柱与导套安装孔的位置尺寸必须一致，其孔距公差要求在±0.01 mm 以下。模座上、下面的平行度，导柱导套安装孔与模座上、下面的垂直度等要求应符合《冲裁模模架零件技术条件》标准中的有关规定。

④ 模座材料视工艺力大小和模座的重要性选用，一般的模座选用 HT200 或 HT250，也可选用 Q235 或 Q255，大型重要模座可选用 ZG35 或 ZG45。

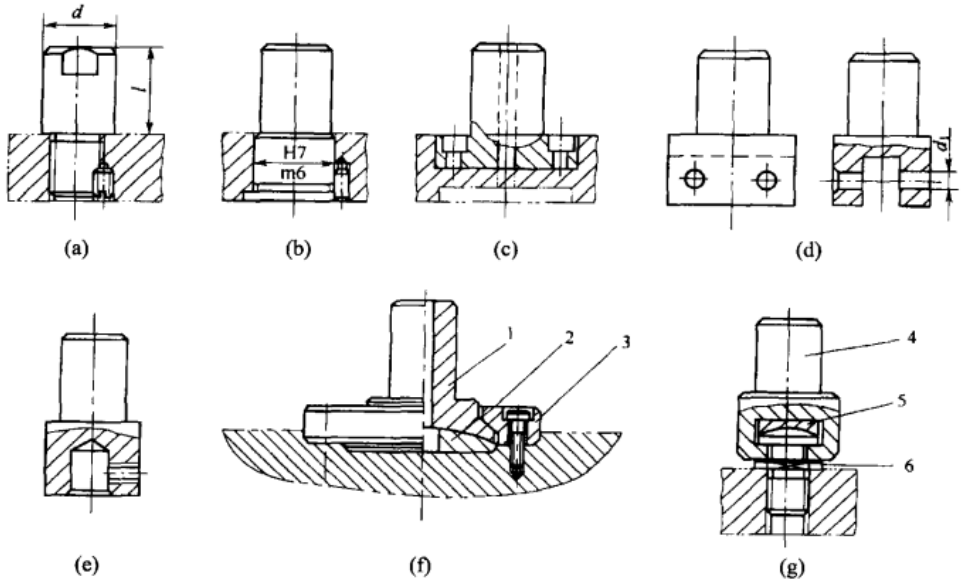
5. 其他支承与固定零件

（1）模　柄

模柄的作用是把上模固定在压力机滑块上，同时使模具中心通过滑块的压力中心。中小型模具一般都是通过模柄与压力机滑块相连接的。

模柄的结构形式较多，并已标准化。标准模柄的结构形式如图 2－66 所示，其中图 2－66(a)是旋入式模柄，通过螺纹与上模座连接，并加螺钉防松，这种模柄装拆方便，但模柄轴线与上模座的垂直度较差，多用于有导柱的小型冲裁模；图 2－66(b)为压入式模柄，它与上模座孔以 H7/m6 配合并加销钉防转，模柄轴线与上模座的垂直度较好，适用于上模座较厚的各种小型冲裁模，生产中最常用；图 2－66(c)为凸缘式模柄，用 3～4 个螺钉固定在上模座的窝孔内，模柄的凸缘与上模座窝孔以 H7/js6 配合，主要用于大型冲裁模或上模座中开设了推板孔的小型模；图 2－66(d)是槽形模柄，图 2－66(e)是通用模柄，这两种模柄都是用来直接固定凸模，故也可称为带模座的模柄，主要用于简单冲裁模，更换凸模方便；图 2－66(f)是浮动式模柄，其主要特点是压力机的压力通过凹球面模柄 1 和凸球面垫块 2 传递到上模，可以消除压力机导向误差对模具导向精度的影响，主要用于硬质合金冲裁模等精密导柱模；图 2－66(g)为推入式活动模柄，压力机压力通过模柄接头 4、凹球面垫块 5 和活动模柄 6 传递到上模，也是一种浮动模柄，主要用于精密冲裁模，这种模柄因模柄的槽孔单面开通（呈 U 形），所以使用时导柱

导套不宜脱离。



1—凹球面模柄；2—凸球面垫块；3—压板；4—模柄接头；5—凹球面垫块；6—活动模柄

图 2-66　模柄的结构形式

选择模柄时，先根据模具大小、上模结构、模架类型及精度等确定模柄的结构类型，再根据压力机滑块上模柄孔尺寸确定模柄的尺寸规格。一般模柄直径应与模柄孔直径相等，模柄长度应比模柄孔深度小 5～10 mm。

(2) 凸模固定板与垫板

凸模固定板的作用是将凸模或凸凹模固定在上模座或下模座的正确位置上。凸模固定板为矩形或圆形板件，外形尺寸通常与凹模一致，厚度可取凹模厚度的 60%～80%。固定板与凸模或凸凹模为 H7/n6 或 H7/m6 配合，压装后应将凸模端面与固定板一起磨平。对于多凸模固定板，其凸模安装孔之间的位置尺寸应与凹模型孔相应的位置尺寸保持一致。

垫板的作用是承受并扩散凸模或凹模传递的压力，以防止模座被挤压损伤。因此，当凸模或凹模与模座接触的端面上产生的单位压力超过模座材料的许用挤压应力时，就应在与模座的接触面之间加上一块淬硬磨平的垫板。压力较小时可不加垫板。

垫板的外形尺寸与凸模固定板相同，厚度可取 3～10 mm。凸模固定板和垫板的轮廓形状及尺寸均已标准化，可根据上述尺寸确定原则从相应标准中选取。

6. 紧固件

冲裁模中用到的紧固件主要是螺钉和销钉，其中螺钉起联接固定作用，销钉起定位作用。螺钉和销钉都是标准件，种类很多，但冲裁模中广泛使用的螺钉是内六角螺钉，它紧固牢靠，螺钉头不外露，模具外形美观。销钉常用圆柱销。

模具设计时，螺钉和销钉的选用应注意以下几点：

① 同一组合中，螺钉的数量一般不少于 3 个(对中小型冲裁模，被联接件为圆形时用 3～6 个，为矩形时用 4～8 个)，并尽量沿被联接件的外缘均匀布置。销钉的数量一般都用 2 个，且尽量远距离错开布置，以保证定位可靠。

② 螺钉和销钉的规格应根据冲压工艺力大小和凹模厚度等条件确定。螺钉规格可参考表 2－21 选用，销钉的公称直径可取与螺钉大径相同或小一个规格。螺钉的旋入深度和销钉的配合深度都不能太浅，也不能太深，一般可取公称直径的 1.5～2 倍。

表 2－21　螺钉规格的选用

凹模厚度 H/mm	螺钉规格	凹模厚度 H/mm	螺钉规格	凹模厚度 H/mm	螺钉规格
≤13	M4，M5	>19～25	M6，M8	>32	M10，M12
>13～19	M5，M6	>25～32	M8，M10		

③ 螺钉之间、螺钉与销钉之间的距离，螺钉、销钉距凹模刃口及外边缘的距离，均不应过小，以防降低模板强度。

④ 各被联接件的销孔应配合加工，以保证位置精度。销钉与销孔之间采用 H7/m6 或 H7/n6 配合。

2.2.5　冲裁模设计实例

冲裁如图 2－67 所示的接触环零件，材料为锡青铜带 QSn6.5－0.1(M)，厚度 $t=0.3$ mm。已知年产量 15 万件，试确定冲裁工艺方案并设计冲裁模。

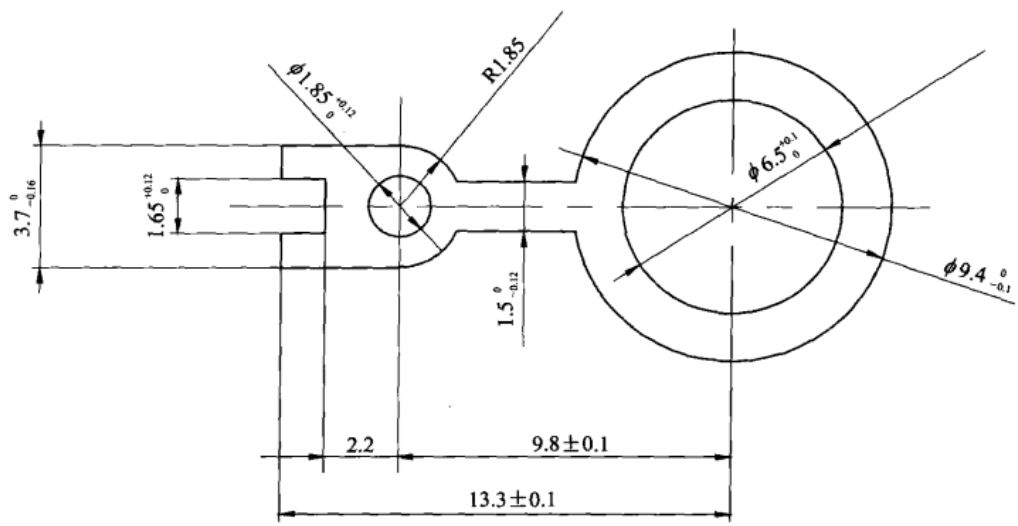


图 2－67　接触环零件图

1. 零件的工艺性分析

(1) 结构与尺寸

该零件结构较简单，形状对称，尺寸较小。悬臂宽度(1.5，1.025)大于 $1.5t$，臂长(3.25，1.3)小于 5 倍臂宽；凹槽宽度 $1.65^{+0.12}_{0}>1.5t$，深度也较小；最小孔径 $\phi1.85^{+0.12}_{0}>0.9t$；孔至边缘最小距离(0.925)$>1.5t$。均适宜于冲裁加工。

(2) 精　度

零件尺寸公差除 $\phi9.4_{-0.1}^{0}$ 接近于 IT11 级以外，其余尺寸均低于 IT12 级，亦无其他特殊要求。通过查阅冲裁件尺寸公差表可知，利用普通冲裁方式可以达到零件图样要求。

(3) 材　料

锡青铜带 QSn6.5－0.1(M)，软态，带料，抗剪强度 τ_b＝255 MPa，伸长率为 38%。此材料具有较高的弹性和良好的塑性，其冲裁加工性较好。

根据以上分析，该零件的工艺性较好，适合冲裁加工。

2. 确定冲裁工艺方案

该零件包括落料和冲孔两个基本工序，可采用的冲裁工艺方案有：单工序冲裁、复合冲裁和级进冲裁 3 种。由于零件属于大批量生产，尺寸又较小，因此采用单工序冲裁效率太低，且不便于操作。若采用复合冲裁，虽然冲出的零件精度和平直度较好，生产效率也较高，但因零件的孔边距太小，模具强度不能保证。采用级进冲裁时，生产效率高，操作方便，通过设计合理的模具结构和排样方案可以达到较好的零件质量和避免模具强度不够的问题。

根据以上分析，该零件采用级进冲裁工艺方案较优。

3. 确定模具总体结构方案

(1) 模具类型

根据零件的冲裁工艺方案，采用级进冲裁模。

(2) 操作与定位方式

虽然零件的生产批量较大，但只要合理安排生产，用手工送料方式能够达到批量要求，且能降低模具成本，因此采用手工送料方式。考虑零件尺寸较小，材料厚度较薄，为了便于操作和保证零件的精度，宜采用导料板导向、侧刃定距的定位方式。为减少料头和料尾的材料消耗和提高定距的可靠性，采用双侧刃前后对角布置。

(3) 卸料与出件方式

考虑零件厚度较薄，采用弹性卸料方式。为了便于操作、提高生产率，冲裁件和废料采用由凸模直接从凹模洞口推下的下出件方式。

(4) 模架类型及精度

由于零件厚度薄，冲裁间隙很小，又是级进模，因此采用导向平稳的对角导柱模架。考虑零件精度要求不是很高，但冲裁间隙较小，因此采用 I 级模架精度。

4. 工艺与设计计算

(1) 排样设计与计算

该零件材料厚度较薄，尺寸小，近似 T 形，因此可采用 45°的斜对排样，如图 2－68 所示。考虑模具强度的影响，在冲孔和落料工位之间增设了一个空位。

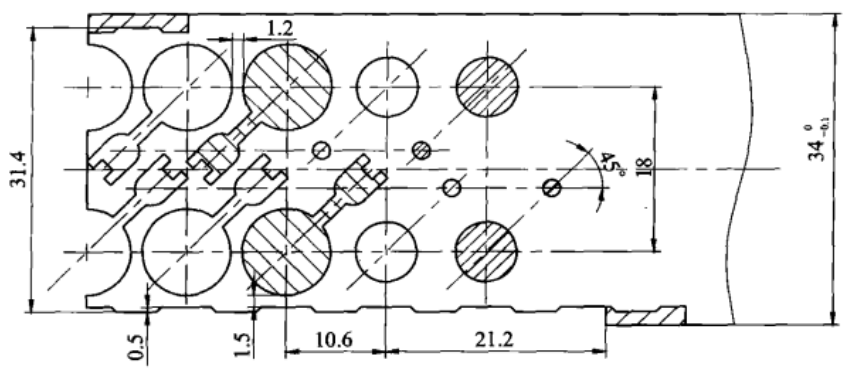


图 2－68　排样图

根据排样图的几何关系，可以近似算出两排中心距为 18 mm。

查表，取 $a=1.5$ mm，$a_1=1.2$ mm，$\Delta=0.10$ mm，$z=0.5$ mm，$b_1=1.3$ mm，$y=0.1$ mm。因采用的 I C 型侧刃，故料宽每边需增加燕尾形切入深度 $a'=0.5$ mm。因此，条料宽度为

$$B_{-\Delta}^{\ 0} = (D_{max} + 2a + 2a' + nb_1)_{-\Delta}^{\ 0} =$$

$$(18 + 9.4 + 2 \times 1.5 + 2 \times 0.5 + 2 \times 1.3)_{-0.10}^{\ 0}\ \text{mm} = 34_{-0.1}^{\ 0}\ \text{mm}$$

冲裁后废料宽度为

$$B_1 = D_{max} + 2a + 2a' = (18 + 9.4 + 2 \times 1.5 + 2 \times 0.5)\ \text{mm} = 31.4\ \text{mm}$$

步距为

$$s = (9.4 + 1.2)\ \text{mm} = 10.6\ \text{mm}$$

导料板间距为

$$B' = B + z = (34 + 0.5)\ \text{mm} = 34.5\ \text{mm}$$

$$B_1' = B_1 + y = (31.4 + 0.1)\ \text{mm} = 31.5\ \text{mm}$$

由零件图近似算得一个零件的面积为 54 mm^2，一个步距内冲 2 件，故 $A=54\ \text{mm} \times 2\ \text{mm} = 108\ \text{mm}^2$。一个步距内的坯料面积 $B \times s = 34 \times 10.6 = 360.4\ \text{mm}^2$。因此材料利用率为

$$\eta = \frac{A}{Bs} \times 100\% = \frac{108\ \text{mm}^2}{360.4\ \text{mm}^2} \times 100\% \approx 30\%$$

(2) 计算冲压力与压力中心，初选压力机

冲裁力：根据零件图可算得一个零件内外周边之和 $L_1=77$ mm，侧刃冲切长度 $L_2=12.8$ mm，根据排样图一模冲 2 件和双侧刃布置，故总冲裁长度 $L=(77+12.8)\ \text{mm} \times 2 = 179.6$ mm。又因 $\tau_b=255$ MPa，$t=0.3$ mm，取 $K=1.3$，则

$$F = KLt\tau_b = 1.3 \times 179.6 \times 0.3 \times 255\ \text{N} = 17\ 861\ \text{N}$$

卸料力：查表，取 $K_X=0.06$，则

$$F_X = K_X F = 0.06 \times 17\ 861\ \text{N} = 1\ 072\ \text{N}$$

推件力：根据材料厚度取凹模刃口直壁高度 $h=5$ mm，故 $n=h/t=5/0.3=16$。查表，取 $K_T=0.07$，则

$$F_T = nK_T F = 16 \times 0.07 \times 17\ 861\ \text{N} = 20\ 004\ \text{N}$$

总冲压力　$F_\Sigma = F + F_X + F_T = (17\ 861 + 1\ 072 + 20\ 004)\ \text{N} = 38\ 937\ \text{N} \approx 40\ \text{kN}$

应选取的压力机公称压力 $P_o \geqslant (1.1 \sim 1.3) F_\Sigma = (1.1 \sim 1.3) \times 40\ \text{kN} = 44 \sim 52\ \text{kN}$，因此可选压力机型号为 J23－6.3。

因冲裁件尺寸较小，冲裁力不大，且选用了对角导柱模架，受力平稳，估计压力中心不会超出模柄端面积之外，故不必详细计算压力中心的位置。

(3) 计算凸、凹模刃口尺寸及公差

由于材料薄，模具间隙小，故凸、凹模采用配作加工为宜。又根据排样图可知，凹模的加工较凸模困难，且级进模所有凹模型孔均在同一凹模板上，因此，选用凹模为制造基准件。故不论冲孔、落料，只计算凹模刃口尺寸及公差，并将计算值标注在凹模图样上。各凸模仅按凹模各对应尺寸标注其基本尺寸，并注明按凹模实际刃口尺寸配双面间隙 0.03 mm(查表并按Ⅱ类间隙)。侧刃按侧刃孔配单面间隙 0.015 mm。

1) 落料凹模刃口尺寸

按磨损情况分类计算。

① 凹模磨损后增大的尺寸，按公式 $A_{凹}=(A_{max}-x\Delta)^{+\frac{\Delta}{4}}_{0}$ 计算：

$9.4^{0}_{-0.1}$　$A_{凹1}=(9.4-0.75\times0.1)^{+0.1/4}_{0}\ \text{mm}=9.33^{+0.025}_{0}\ \text{mm}$

$1.5^{0}_{-0.12}$　$A_{凹2}=(1.5-0.75\times0.12)^{0.12/4}_{0}\ \text{mm}=1.41^{+0.03}_{0}\ \text{mm}$

$3.7^{0}_{-0.06}$　$A_{凹3}=(3.7-0.75\times0.16)^{+0.16}_{0}\ \text{mm}=3.58^{+0.04}_{0}\ \text{mm}$

13.3 ± 0.1　$A_{凹4}=(13.3+0.1-0.75\times0.2)^{+0.2/4}_{0}\ \text{mm}=13.25^{+0.05}_{0}\ \text{mm}$

2.2 ± 0.12　$A_{凹5}=(2.2+0.12-0.5\times0.24)^{+0.24/4}_{0}\ \text{mm}=2.2^{+0.06}_{0}\ \text{mm}$

② 凹模磨损后减小的尺寸，按公式 $B_{凹}=(B_{min}+x\Delta)^{0}_{-\frac{\Delta}{4}}$ 计算：

$1.65^{+0.12}_{0}$　$B_{凹}=(1.65+0.75\times0.12)^{0}_{-0.12/4}\ \text{mm}=1.74^{0}_{-0.03}\ \text{mm}$

③ 凹模磨损后不变的尺寸，按公式 $C_{凹}=(C_{min}+0.5\Delta)\pm0.125\Delta$ 计算：

9.8 ± 0.1　$C_{凹}=[(9.7+0.5\times0.2)\pm0.125\times0.2]\ \text{mm}=9.8\pm0.025\ \text{mm}$

2）冲孔凹模刃口尺寸

冲孔凹模均为圆形，故可按公式 $d_{凹}=(d_{min}+x\Delta+Z_{min})^{+\frac{\Delta}{4}}_{0}$ 计算：

$6.5^{+0.1}_{0}$　$d_{凸1}=(6.5+0.75\times0.1+0.03)^{+0.1/4}_{0}\ \text{mm}=6.61^{+0.025}_{0}\ \text{mm}$

$1.85^{+0.12}_{0}$　$d_{凸2}=(1.85+0.75\times0.12+0.03)^{+0.12/4}_{0}\ \text{mm}=1.97^{+0.03}_{0}\ \text{mm}$

3）侧刃孔尺寸

可按公式 $A_{凹}=(A+0.5Z_{min})^{+\delta_{凸}}_{0}$ 计算。取 $\delta_{凹}=0.02$，则

$$A_{凹}=(A+0.5Z_{min})^{+\delta_{凹}}_{0}=(10.6+0.5\times0.03)^{+0.02}_{0}\ \text{mm}=10.61^{+0.02}_{0}\ \text{mm}$$

当采用线切割机床加工凹模时，各型孔尺寸和孔距尺寸的制造公差均可标注为±0.01（为机床一般可达到的加工误差），本例即采用此种加工的标注法。

5. 设计选用模具零、部件，绘制模具总装草图

本例只介绍凸、凹模零件的设计过程，其他零件的设计或选用过程从略。

（1）凹模设计

凹模采用矩形板状结构和直接用螺钉、销钉与下模座固定的固定方式。因冲裁件的批量较大，考虑凹模的磨损和保证冲裁件的质量，凹模刃口采用直刃结构，刃壁高度取 5 mm，漏料部分沿刃口轮廓适当扩大（为便于加工，落料凹模漏料孔可设计成近似于刃口轮廓的简化形状，如图 2-69 所示）。凹模轮廓尺寸计算如下：

沿送料方向的凹模型孔壁间最大距离为

$$l=(31.81+21.2+10.61)\ \text{mm}\approx63.6\ \text{mm}$$

垂直于送料方向的凹模型孔壁间最大距离为

$$b=(31.4-2\times0.5+2\times6)\ \text{mm}=42.4\ \text{mm}\quad(\text{取侧刃厚度为 }6\ \text{mm})$$

沿送料方向的凹模长度为

$$L=l+2c=(63.6+2\times20)\ \text{mm}=103.6\ \text{mm}(\text{查表 }2-18,\text{取 }c=20\ \text{mm})$$

垂直于送料方向的凹模宽度为

$$B=b+2c=(42.4+2\times20)\ \text{mm}=82.4\ \text{mm}$$

凹模厚度为

$$H=K_1K_2\sqrt[3]{0.1F}=(1\times1.25\sqrt[3]{0.1\times18\,060})\ \text{mm}=15.2\ \text{mm}$$

（查表 2-19，取 $K_2=1.254$，$K_1=1$）

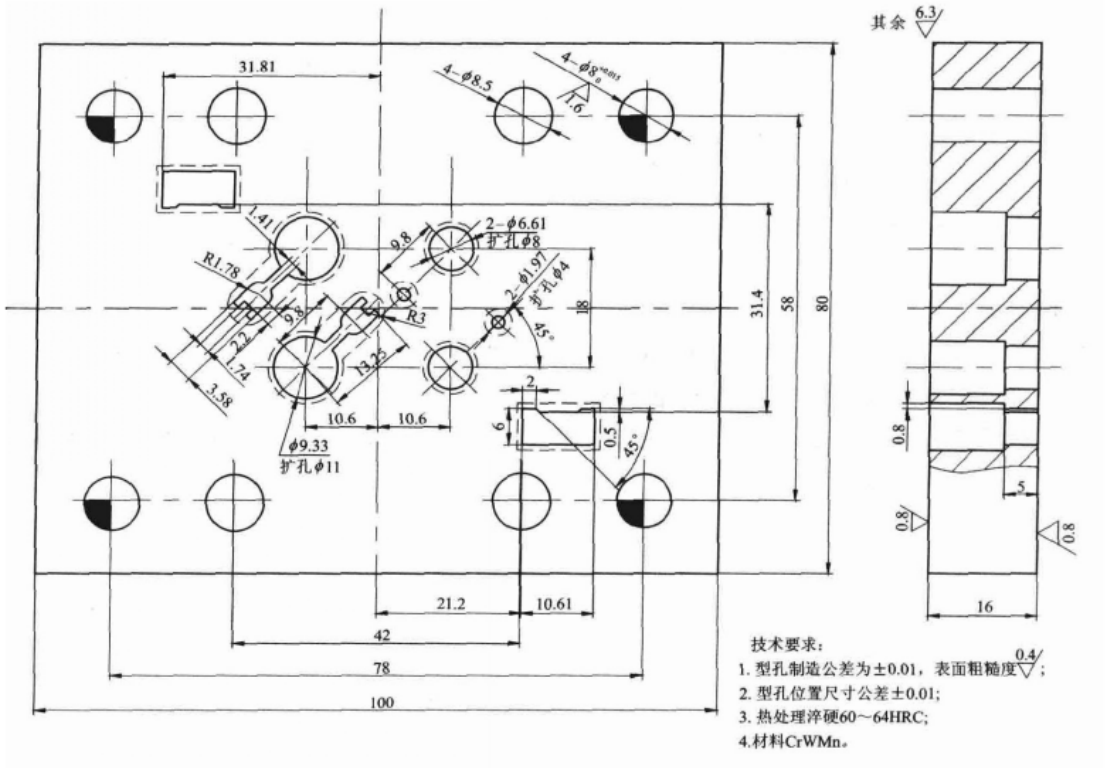


图 2-69　凹模

根据算得的凹模轮廓尺寸，选取与计算值相接近的标准凹模板轮廓尺寸为 $L\times B\times H=$ 100 mm×80 mm×16 mm。

凹模的材料选用 CrWMn，工作部分热处理淬硬 60～64HRC。

(2) 凸模设计

落料凸模刃口部分为非圆形，为便于凸模和固定板的加工，可设计成阶梯形结构，并将安装部分设计成便于加工的长圆形，通过铆接方式与固定板固定。凸模的尺寸根据刃口尺寸、卸料装置和安装固定要求确定。凸模的材料也选用 CrWMn，工作部分热处理淬硬 58～62HRC。

冲孔凸模的设计与落料凸模基本相同，因刃口部分为圆形，其结构更简单。考虑冲孔凸模直径很小，故需对最小凸模($\phi1.85^{+0.12}_{0}$冲孔凸模)进行强度和刚度校核。

1) 凸模最小直径的校核

一般情况下 $d>1.3t$ 不需校核，仅以此为例说明校核方法。为使弹压卸料板加工方便，取凸模与卸料板的双面间隙为 0.2 mm(不起导向作用)。

凸模的最小直径 d 应满足：

$$d\geqslant 5.2t\tau_b/[\sigma_y]=5.2\times0.3\times255/1\ 200\ \text{mm}=0.33\ \text{mm}\quad(\text{取}[\sigma_y]=1\ 200\ \text{MPa})$$

$$d_{凸2}=d_{凹2}-Z_{\min}=(1.97-0.03)\ \text{mm}=1.94\ \text{mm}$$

因为 $d_{凸2}>0.33$ mm，所以凸模强度足够。

2) 凸模最大自由长度的校核(稳定性校核)

凸模最大自由长度 L 应满足

$L \leqslant 90d^2/\sqrt{F} = 90 \times 1.94^2/\sqrt{1.3 \times 3.14 \times 1.94 \times 0.3 \times 255}\ \text{mm} = 13.8\ \text{mm}$

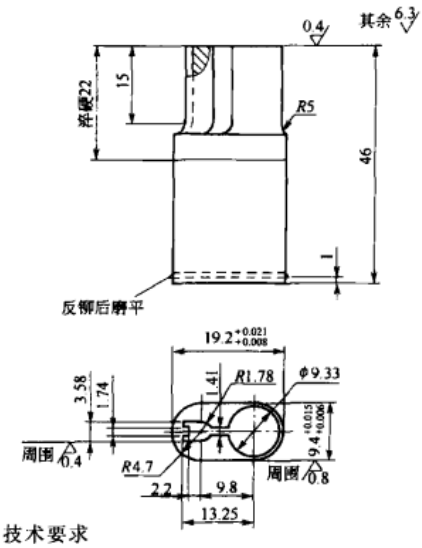
由此可知，小冲孔凸模工作部分长度不能超过 13.8 mm。本例取小冲孔凸模工作部分长度为 12 mm，大冲孔凸模和落料凸模为 15 mm(见图 2－70、图 2－71 和图 2－72)。

其他主要模具零部件的尺寸规格为：模架 100 mm×80 mm×(120～145) mm(GB/T 2851.3—1990)，凸模固定板 100 mm×80 mm×18 mm，卸料板 100 mm×80 mm×12 mm(台阶高度 4.5 mm)，垫板 100 mm×80 mm×4 mm，卸料弹簧 2.5×12×40(GB 2089—1980)，模柄 A30×78(GB 2862.1—1981)。

根据模具总体结构方案和已设计选用的模具零部件，绘制模具总装草图，并检验模具零件的相关尺寸、配合关系及结构工艺性等，校核压力机的参数，最后作出合理修改。

6. 绘制正规模具总装图和非标准模具零件图

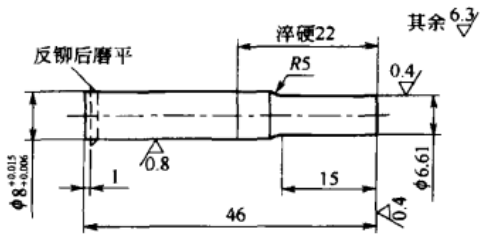
本例的模具总装图如图 2－31 所示，凹模、落料凸模、冲孔凸模、凸模固定板和卸料板分别见图 2－69～图 2－74。



技术要求

1. 刃口部分按凹模实际刃口尺寸配作，保证双面间隙 0.03 mm；
2. 保持刃口锋利；3. 淬硬部分 58～62HRC；
4. 材料 CrWMn

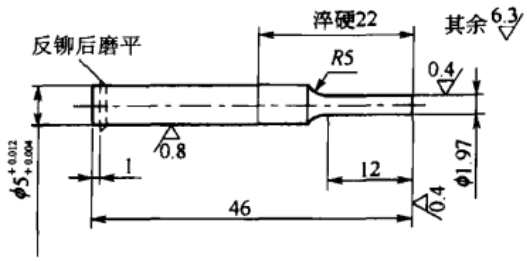
图 2－70　落料凸模



技术要求

1. 刃口部分按凹模实际刃口尺寸配作，保证双面间隙 0.03 mm；2. 保持刃口锋利；
3. 淬硬部分 58～62HRC；4. 材料 CrWMn

图 2－71　大冲孔凸模



技术要求

1. 刃口部分按凹模实际刃口尺寸配作，保证双面间隙 0.03 mm；
2. 保持刃口锋利；
3. 淬硬部分 58～62HRC；4. 材料 CrWMn

图 2－72　小冲孔凸模

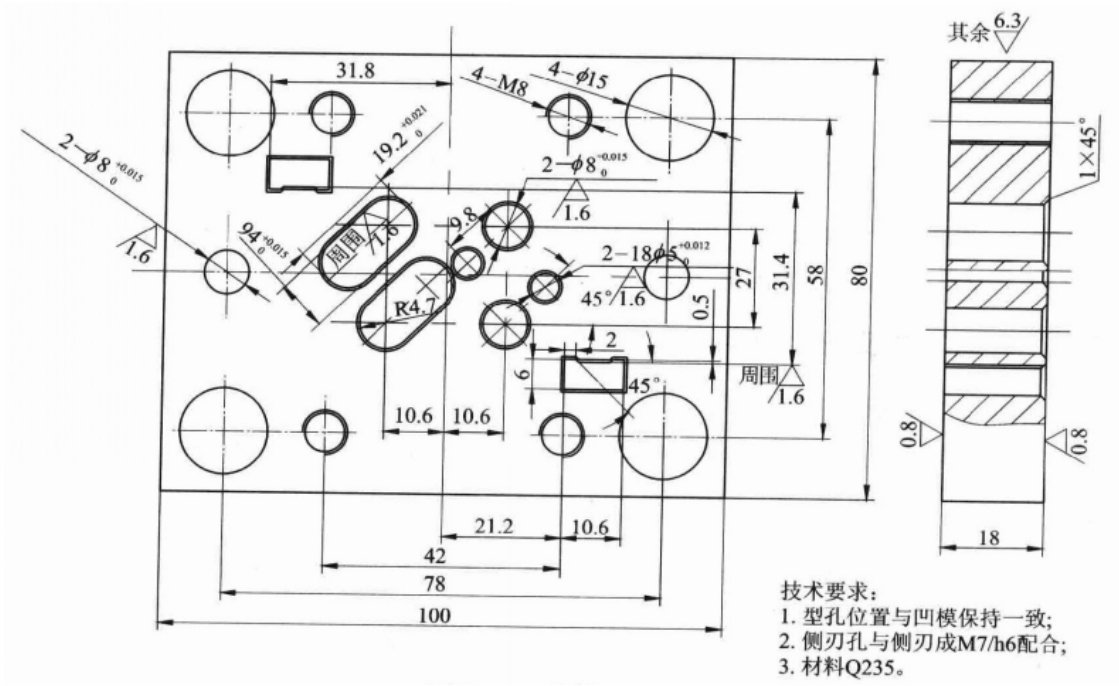


图 2－73　凸模固定板

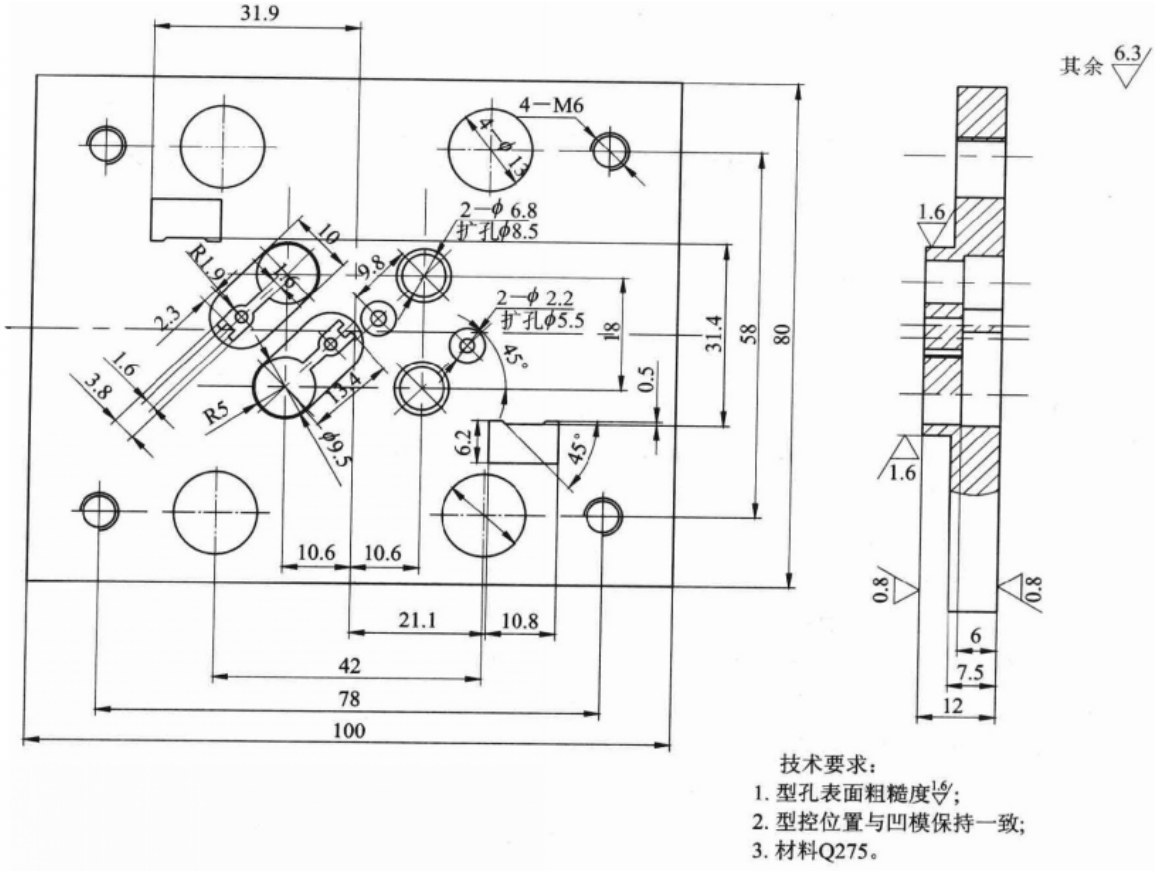


图 2－74　卸料板

2.3 弯曲模设计

将坯料弯成具有一定角度和形状的零件的成型方法称为弯曲。弯曲所使用的冲压模具称为弯曲模。

弯曲是冲压生产中基本的工序之一，在冲压生产中应用的比较广泛。根据弯曲成型时所使用的模具及设备不同，弯曲可分为压弯、拉弯、折弯和滚弯等。

2.3.1 弯曲工艺及设计计算

1. 弯曲过程分析

在压力机上采用压弯模具对板料进行压弯是弯曲工艺中运用最多的方法。弯曲变形的过程一般经历弹性弯曲变形、弹-塑性弯曲变形、塑性弯曲变形3个阶段。现以常见的V形件弯曲为例。

弯曲开始时，模具的凸、凹模分别与板料接触，使板料产生弯曲。在弯曲的开始阶段，弯曲圆角半径 r_0 很大，弯曲力矩很小，仅引起材料的弹性弯曲变形。

随着凸模进入凹模深度的增大，弯曲圆角半径 r 亦逐渐减小，即 $r_3<r_2<r_1<r_0$，板料的弯曲变形程度进一步加大，如图2-75所示。

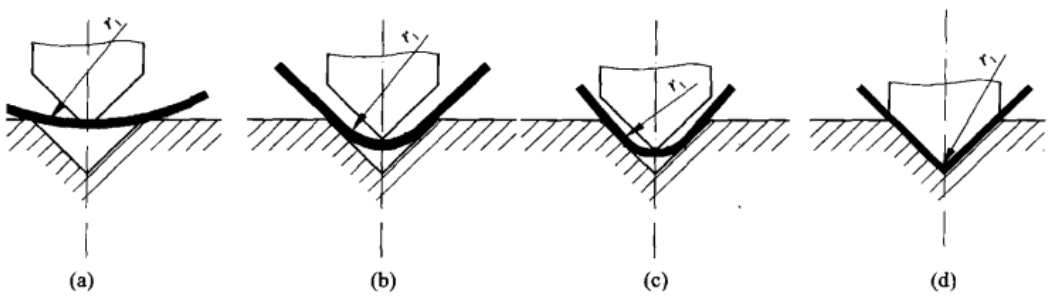


图2-75 弯曲变形过程

弯曲变形程度可以用相对弯曲半径 r/t 表示，t 为板料的厚度。r/t 越小，表明弯曲变形程度越大。一般认为当相对弯曲半径 $r/t>200$ 时，弯曲区材料即开始进入弹-塑性弯曲阶段，坯料变形区内(弯曲半径发生变化的部分)料厚的内外表面首先开始出现塑性变形，随后塑性变形向坯料内部扩展。

凸模继续下行，变形由弹-塑性弯曲逐渐过渡到塑性变形。最终，凸模的V形斜面接触后被反向弯曲，再与凹模斜面逐渐靠紧，直至板料与凸、凹模完全贴紧。

若弯曲终了时，凸模与板料、凹模3者贴合后凸模不再下压，称为自由弯曲。若凸模再下压，对板料再增加一定的压力，则称为校正弯曲。校正弯曲与自由弯曲的凸模下止点位置是不同的，校正弯曲使弯曲件在下止点受到刚性镦压，减小了工件的回弹。

2. 弯曲件的回弹和弯曲时的偏移

弯曲成型过程中出现的主要工艺问题是回弹和偏移。

(1) 弯曲件的回弹

弯曲结束后，凸模与凹模分开，工件不受外力作用时，由于弹性回复的存在，使弯曲件弯曲

部分的曲率半径和弯曲角度在弯曲外力撤去后发生变化的现象称回弹。

减小回弹的措施：

① 改进零件设计。在变形区设计加强筋或成形边翼，增加弯曲件的刚性和成形边翼的变形程度，如图 2－76 所示。

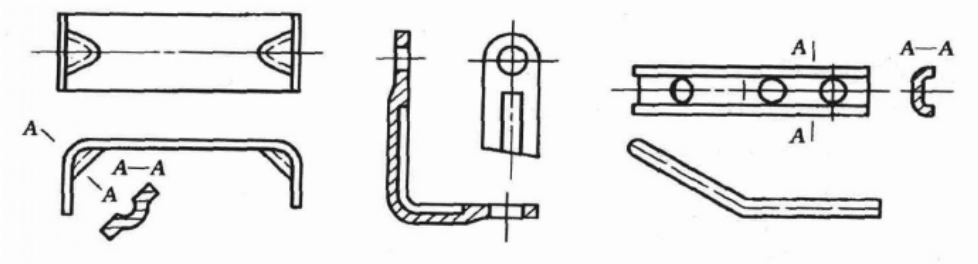


图 2－76　减小回弹的结构

② 选用弹性模量大、屈服极限小、机械性能稳定的材料，也可使弯曲件的回弹量减小。

③ 采用校正弯曲代替自由弯曲，增加弯曲力。

④ 加热弯曲。

⑤ V 形弯曲可在凸模上减去一个回弹角；U 形弯曲可将凸模壁作出等于回弹角的倾斜角（图 2－77(a)），或将凸模顶面做成弧面（图 2－77(b)），以补偿两边的回弹。

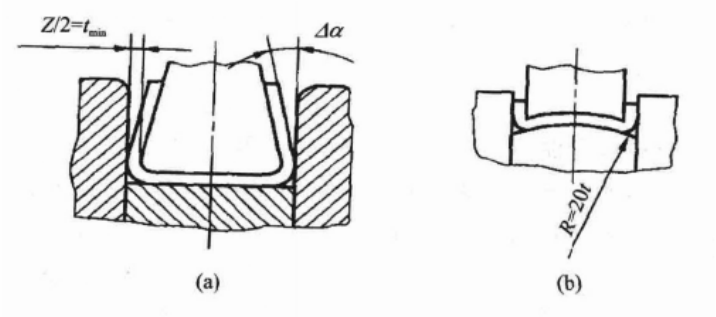


图 2－77　弯曲的回弹补偿

⑥ 可将凸模做成如图 2－78 所示的形状，减小凸模与工件的接触区，使压力集中在弯曲变形区，加大变形区的变形程度。

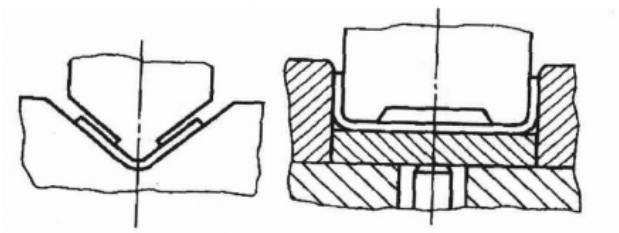


图 2－78　改变凸模形状减小回弹

⑦ 对于一般材料的弯曲件，可增加压料力或减小凸、凹模之间的间隙，减小回弹。

(2) 弯曲时的偏移

由于坯料与模具之间摩擦的存在，当摩擦力不平衡时造成坯料的移位，使弯曲件的尺寸达不到要求，这种现象称作偏移。

产生偏移的原因很多：坯料形状不对称，两边与凹模接触面不相等，两边折弯的个数不一样；凹模两边的边缘圆角半径不相等，间隙不相等，润滑情况不一样等，都会导致弯曲时产生偏移现象。

防止偏移的主要措施：

① 尽可能采用对称凹模，边缘圆角相等，间隙均匀。

② 采用弹性顶件装置的模具结构，如图 2-79 所示。

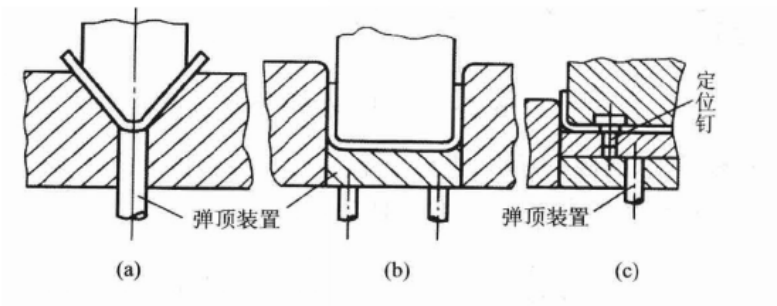


图 2-79　从模具结构上克服偏移

③ 采用定位销的模具结构，使坯料无法移动，如图 2-79(c)所示。

3. 弯曲件的工艺性

(1) 最小弯曲半径

对于一定厚度的材料，弯曲半径越小，外层材料的伸长率越大，当外缘材料的伸长率达到并超过材料的伸长率后，就会导致弯裂。在保证坯料最外层纤维不发生破裂的前提下，所能获得的弯曲零件内表面最小圆角半径与弯曲材料厚度的比值 r_{min}/t 称为最小相对弯曲半径。

弯曲件弯曲半径不宜小于最小弯曲半径，否则，坯料外表面变形可能会超过材料变形极限而破裂；也不宜过大，因为过大时，受到回弹的影响，弯曲角度与弯曲半径的精度都不易保证。

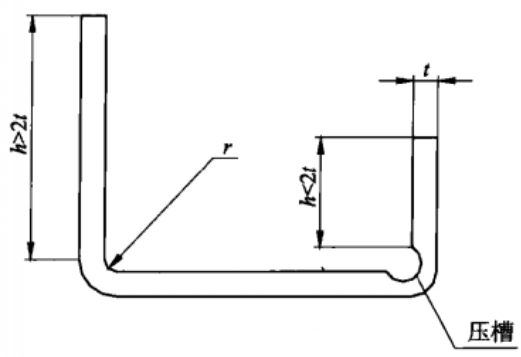


图 2-80　弯曲件直边高度

(2) 弯曲件直边高度

当弯曲件为 90°弯曲时，应使其直边高度 $h>2t$，否则没有足够长的弯曲力臂。当 $h<2t$ 时，应预先压槽，再弯曲或增加直边高度，弯曲后再切除高出部分，如图 2-80 所示。

(3) 弯曲件孔边距

带孔的板料在弯曲时，如果孔位于弯曲变形区内，则弯曲后孔的形状会发生变形。如图 2-81(a)所示，孔边到弯曲半径中心的距离 l 为：

当 $t\geqslant 2$ mm 时，$l\geqslant 2t$

当 $t<2$ mm 时，$l\geqslant t$

如果不能满足上述条件，可以采取冲凸缘缺口或月牙槽的措施，或在弯曲变形区冲出工艺

孔，防止孔在弯曲时变形，如图 2－81(b)(c)所示。

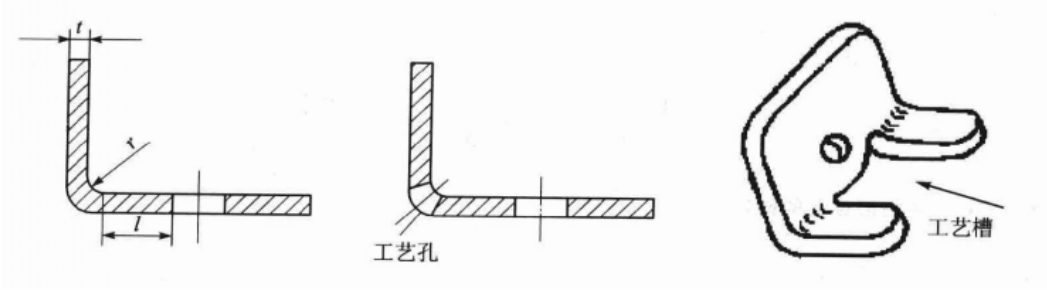


图 2－81　弯曲件孔边距

(4) 止裂孔、止裂槽

板料边缘需局部弯曲时，为了避免角部畸变与形成裂纹，应预先切槽或冲工艺孔如图 2－82所示。

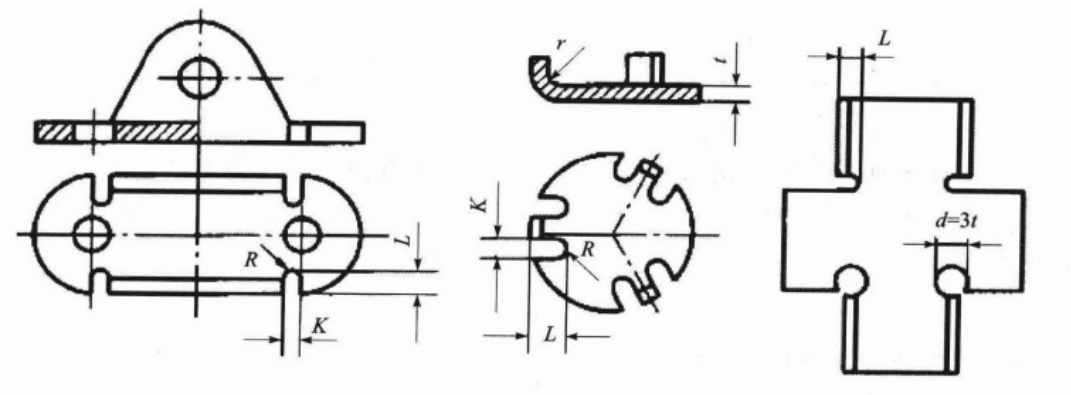


图 2－82　预冲工艺槽、孔的弯曲件

(5) 弯曲件的尺寸标注

弯曲件的尺寸标注有 3 种方法，如图 2－83 所示。图 2－83(a)可以采用先落料冲孔，然后弯曲成型。而图 2－83(b)(c)为了保证尺寸，只能先弯曲后冲孔，增加了工序。

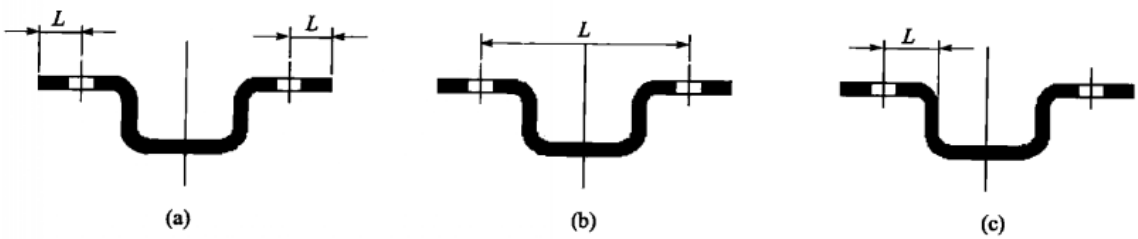


图 2－83　弯曲件的尺寸标注

(6) 弯曲件的尺寸精度

弯曲件的尺寸精度以不高于 IT13 级为宜，角度公差应不大于 $\pm 15'$。若对尺寸精度有较高要求，在结构设计上应设置定位工艺孔；对角度公差有较高要求时，应在弯曲工艺方面增加整形工序。

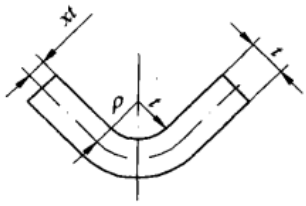


图 2-84　中性层位置的确定

4. 弯曲工艺计算

(1) 弯曲件坯料展开尺寸计算

弯曲件坯料展开尺寸是指弯曲件在弯曲之前的展平尺寸。对于形状比较简单、尺寸精度要求不高的弯曲件，可直接采用下面介绍的方法计算坯料长度。

在计算弯曲件坯料的尺寸时，首先要确定中性层位置，如图 2-84 所示。

在生产中，一般用经验公式，中性层的位置以曲率半径 ρ 来表示

$$\rho = r + xt \tag{2-37}$$

式中：x——中性层位移系数，其值见表 2-22

表 2-22　中性层系数 x 的值

r/t	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2
x	0.21	0.22	0.23	0.23	0.25	0.26	0.28	0.30	0.32	0.33
r/t	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	≥8.0
x	0.34	0.36	0.38	0.39	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50

1) 圆角半径 $r>0.5t$ 的弯曲件展开尺寸

$r>0.5t$ 的弯曲件即称有圆角半径的弯曲件。由于弯曲部分变薄不严重及断面畸变较小，所以可按中性层展开长度等于坯料长度的原则，坯料长度等于弯曲件直线部分长度和圆弧部分长度的总和。

$$L = \sum l_{直线} + \sum l_{圆弧} \tag{2-38}$$

式中：L——弯曲件坯料展开长度；

$l_{直线}$——直线部分各段长度；

$l_{圆弧}$——圆弧部分各段长度。

在图 2-85 中，弯曲件的展开尺寸为：

$$L = l_1 + l_2 + \frac{\pi\alpha}{180}\rho = l_1 + l_2 + \frac{\pi\alpha}{180}(r + xt) \tag{2-39}$$

2) 圆角半径 $r<0.5t$ 的弯曲件展开尺寸

这类弯曲件按变形前后体积不变原则确定坯料长度，如图 2-86 所示。

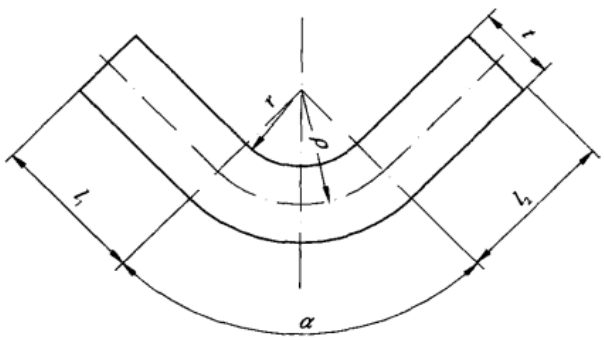


图 2-85　$r>0.5t$ 的弯曲件

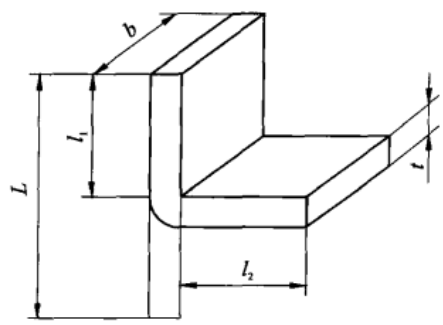


图 2-86　$r<0.5t$ 的弯曲件

弯曲前的体积：$V=Lbt$

弯曲后的体积：$V'=(l_1+l_2)bt+\frac{\pi t^2}{4}b$

V=V′，则有 $L=l_1+l_2+0.785t$

由于弯曲变形时，不仅在坯料的圆角变形区产生变薄，而且与其相邻的两直边部分也相应地有些变薄，因此对上述公式作如下修正：

$$L=l_1+l_2+x't \tag{2-40}$$

式中：x'——系数，一般取 $x'=0.4\sim0.6$。

对于形状比较复杂或精度要求高的弯曲件，在利用上述公式初步计算坯料长度后，还需反复试弯不断修正，才能最后确定坯料的形状及尺寸。

(2) 弯曲力的计算

弯曲力是指工件完成预定弯曲时需要压力机所施加的压力，是选择压力机和设计模具的重要依据之一。

1) 自由弯曲时的弯曲力

V 形件弯曲力的计算公式：

$$F_{自}=\frac{0.6KBt^2\sigma_b}{r+t} \tag{2-41}$$

U 形件弯曲力的计算公式：

$$F_{自}=\frac{0.7KBt^2\sigma_b}{r+t} \tag{2-42}$$

式中：$F_{自}$——自由弯曲在冲压行程结束时的弯曲力，N；

B——弯曲件的宽度，mm；

t——弯曲材料的厚度，mm；

r——弯曲件的内弯曲半径，mm；

σ_b——材料的强度极限，MPa；

K——安全系数，一般取 $K=1.3$。

2) 校正弯曲时的弯曲力

校正弯曲时的弯曲力计算公式：

$$F_{校}=Ap \tag{2-43}$$

式中：$F_{校}$——校正弯曲力，N；

A——校正部分投影面积，mm^2；

P——单位面积上的校正力，MPa，其值见表 2-23。

表 2-23　单位面积上的校正力 P　　MPa

材　料	材料厚度 t/mm		材　料	材料厚度 t/mm	
	≤3	>3～10		≤3	>3～10
铝	30～40	50～60	25～35 钢	100～200	120～150
黄铜	60～80	80～100	钛合金(BT_1)	160～180	180～210
10～20 钢	80～100	100～120	(BT_3)	160～200	200～260

3）顶件力或压料力

若弯曲模设有顶件装置或压料装置，其顶件力（或压料力 F_D）可近似取自由弯曲力的30%～80%。即：

$$F_D = (0.3 \sim 0.8)F_{自} \tag{2-44}$$

4）压力机公称压力的确定

自由弯曲时压力机的压力必须大于自由弯曲力；校正弯曲时压力机的压力必须大于自由弯曲力和校正弯曲力之和。但有时校正弯曲力比自由弯曲力大得多，故自由弯曲力可忽略不计。

（3）弯曲模工作部分尺寸的设计

1）凸模圆角半径

当工件的相对弯曲半径 r/t 较小时，凸模圆角半径等于工件的弯曲半径 r，但不应小于表2-24所列的最小弯曲半径值 r_{min}。若 r/t 小于最小相对弯曲半径，则可以先弯成较大的圆角半径，然后再采用整形工序进行整形。

当弯曲件的相对弯曲半径 r/t 较大时（$r/t>10$），则凸模圆角半径应根据回弹加以修正。

表2-24 板料最小弯曲半径

材料	退火或正火		冷作硬化	
	弯曲线位置			
	垂直于纤维	平行于纤维	垂直于纤维	平行于纤维
08,10	0.1t	0.4t	0.4t	0.8t
15,20	0.1t	0.5t	0.5t	1t
25,30	0.2t	0.6t	0.6t	1.2t
35,40	0.3t	0.8t	0.8t	1.5t
45,50	0.5t	1.0t	1.0t	1.7t
55,60	0.7t	1.3t	1.3t	2t
65Mn,T7	1t	2t	2t	3t
1Cr18Ni9Ti	1t	2t	3t	4t
软杜拉铝	1t	1.5t	1.5t	2.5t
硬杜拉铝	2t	3t	3t	4t
磷　铜	—	—	1t	3t
半硬黄铜	0.1t	0.35t	0.5t	1.2t
软黄铜	0.1t	0.35t	0.35t	0.8t
紫　铜	0.1t	0.35t	1t	2t
铝	0.1t	0.35t	0.5t	1t

2）凹模圆角半径及凹模深度

凹模圆角半径的大小对弯曲力以及弯曲件的质量均有影响，过小的凹模圆角半径会使弯矩的弯曲力臂减小，坯料沿凹模圆角滑入时的阻力增大，弯曲力增加，并易使工件表面擦伤甚至出现压痕。而且凹模两边的圆角半径应一致，否则在弯曲时坯料会发生偏移。

在生产中，通常根据材料的厚度选取凹模圆角半径：

$t \leqslant 2$ mm 时，$r_A=(3\sim6)t$；

$t=2\sim4$ mm 时，$r_A=(2\sim3)t$；

$t>4$ mm 时，$r_A=2t$。

V 形弯曲凹模的底部可开退刀槽或取圆角半径 r'_A：

$$r'_A = (0.6 \sim 0.8)(r_T + t) \tag{2-45}$$

弯曲凹模深度要适当。若过小则弯曲件两端自由部分太长，工件回弹大，不平直；若深度过大则凹模增高，多耗模具材料并需要较大的压力机工作行程。

弯曲 V 形件时，凹模深度及底部最小厚度如图 2-87(a)所示，可查表 2-25。

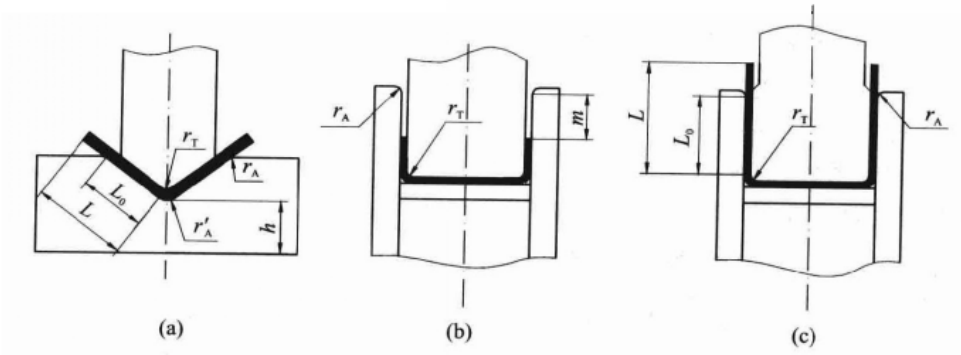


图 2-87　弯曲模的结构尺寸

表 2-25　弯曲 V 形件的凹模深度 L_0 及底部最小厚度值　　mm

弯曲件边长 L/mm	材料厚度 t/mm					
	≤2		2～4		>4	
	h	L_0	h	L_0	h	L_0
>10～25	20	10～15	22	15	—	—
>25～50	22	15～20	27	25	32	30
>50～75	27	20～25	32	30	37	35
>75～100	32	25～30	37	35	42	40
>100～150	37	30～35	42	40	47	50

弯曲 U 形件时，若弯边高度不大，或要求两边平直，则凹模深度应大于零件的高度，如图 2-87(b)所示，图中 m 值见表 2-26。而对平直度要求不高时，可采用图 2-87(c)所示凹模形式。凹模深度 L_0 值见表 2-27。

表 2-26　弯曲 U 形件凹模的 m 值　　mm

材料厚度 t/mm	≤1	1～2	2～3	3～4	4～5	5～6	6～7	7～8	8～10
m	3	4	5	6	8	10	15	20	25

表 2-27　弯曲 U 形件的凹模深度 L_0　　mm

弯曲件边长 L/mm	材料厚度 t/mm				
	<1	>1～2	>2～4	>4～6	>6～10
≥50	15	20	25	30	35
>50～75	20	25	30	35	40
>75～100	25	30	35	40	45
>100～150	30	35	40	45	50
>150～200	40	45	55	65	65

3）凸、凹模间隙

V形弯曲模的凸、凹模间隙是靠调整压机的闭合高度来控制的，设计时可以不考虑。

对于U形件的弯曲，则必须选择适当的间隙，间隙的大小对零件的质量和弯曲力都有很大的影响。间隙越小，则弯曲力越大；间隙过小，会使零件边部壁厚减薄，降低模具寿命。间隙过大，则回弹大，降低工件的精度。U形件弯曲模的凸、凹模单边间隙一般可按下式计算：

$$Z/2 = t_{max} + Ct = t + \Delta + Ct \tag{2-46}$$

式中：$Z/2$——弯曲模凸、凹模单边间隙；

t——工件材料厚度；

Δ——材料厚度正偏差；

C——间隙系数，可查表2-28。

当工件精度要求较高时，其间隙值应适当缩小，取 $Z/2=t$。

表2-28 U形件弯曲模凸、凹模的间隙系数C值

弯曲件高度 H/mm	弯曲件宽度 $b\leqslant 2H$				弯曲件宽度 $b>2H$				
	材料厚度 t/mm								
	<0.5	0.6～2	2.1～4	4.1～5	<0.5	0.6～2	2.1～4	4.1～7.5	7.6～12
10	0.05	0.05	0.04	—	0.10	0.10	0.08	—	—
20	0.05	0.05	0.04	0.03	0.10	0.10	0.08	0.06	0.06
35	0.07	0.05	0.04	0.03	0.15	0.10	0.08	0.06	0.06
50	0.10	0.07	0.05	0.04	0.20	0.15	0.10	0.06	0.06
70	0.10	0.07	0.05	0.05	0.20	0.15	0.10	0.10	0.08
100	—	0.07	0.05	0.05	—	0.15	0.10	0.10	0.08
150	—	0.10	0.07	0.05	—	0.20	0.15	0.10	0.10
200	—	0.10	0.07	0.07	—	0.20	0.15	0.15	0.10

4）凸模和凹模的宽度尺寸计算

弯曲模凸、凹模宽度尺寸的计算与工件尺寸的标注有关。

① 工件标注外形尺寸时，应以凹模为基准件，间隙取在凸模上。

工件为双向偏差(图2-88(a))，凹模尺寸：

$$L_A = (L_{max} - 0.5\Delta)^{+\delta_A}_{0} \tag{2-47}$$

工件为单向偏差(图2-88(b))，凹模尺寸：

$$L_A = (L_{max} - 0.75\Delta)^{+\delta_A}_{0} \tag{2-48}$$

凸模尺寸：

$$L_T = (L_A - Z)_{-\delta_T}^{0} \tag{2-49}$$

② 工件标注内形尺寸时，应以凸模为基准件，间隙取在凹模上。

工件为双向偏差(图2-88(c))，凸模尺寸：

$$L_T = (L_{min} + 0.5\Delta)_{-\delta_T}^{0} \tag{2-50}$$

工件为单向偏差(图2-88(d))，凸模尺寸：

$$L_T = (L_{min} + 0.75\Delta)_{-\delta_T}^{0} \tag{2-51}$$

凹模尺寸

$$L_A = (L_T + Z)^{+\delta_A}_{0} \tag{2-52}$$

式中：L_T，L_A——凸、凹模的宽度尺寸；

L_{max}——弯曲件宽度的最大尺寸；

L_{min}——弯曲件宽度的最小尺寸；

Δ——弯曲件宽度的尺寸公差；

δ_T，δ_A——凸、凹模的制造公差，可采用 IT7～IT9 级精度，一般取凸模的精度比凹模精度高一级。

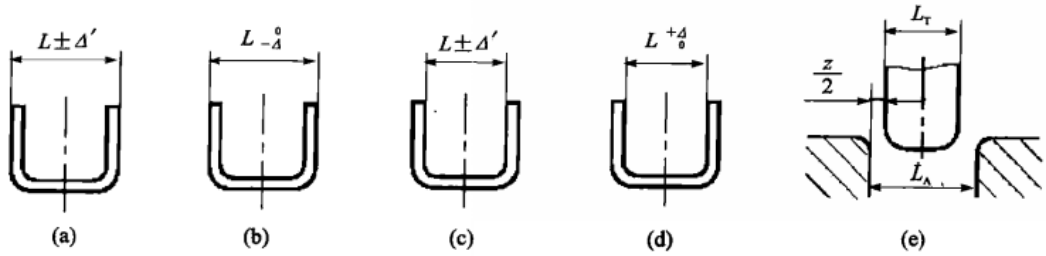
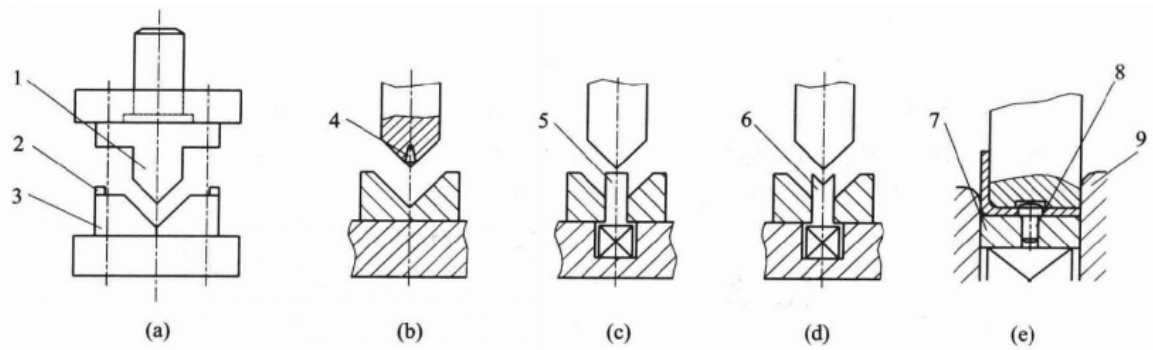


图 2－88　弯曲件的标注及模具尺寸

2.3.2　弯曲模典型结构

1. V 形件弯曲模

V 形件弯曲模的基本结构如图 2－89 所示，图 2－89(a)为简单的 V 形件弯曲模，其特点是结构简单、通用性好，但弯曲时坯料容易偏移，影响工件精度。图 2－89(b)(e)的模具结构采用定位装置，可以有效防止弯曲时坯料滑动。图 2－89(c)(d)中，弹簧顶杆 5，6 是为了防止压弯时板料偏移而采用的压料装置。除了压料作用以外，它还起到了弯曲后顶出工件的作用。这种模具结构简单，对材料厚度公差的要求不高，在压力机上安装调试也较方便。而且工件在弯曲冲程终端得到校正，因此回弹较小，工件的平面度较好。



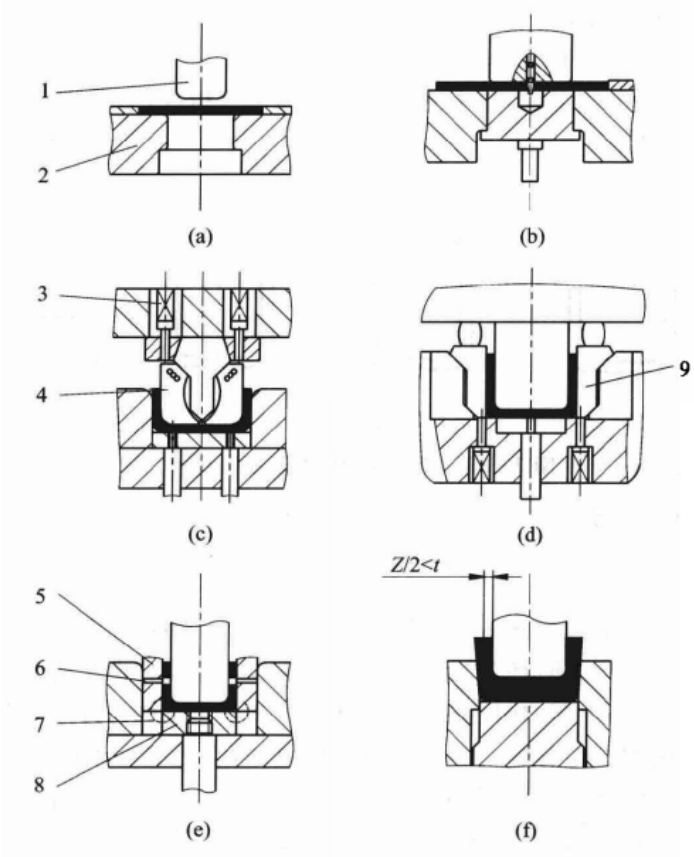
1—凸模；2—定位板；3—凹模；4—定位尖；5—顶杆；6—V 形顶板；7—顶板；8—定料销；9—反侧压块

图 2－89　V 形弯曲模的一般结构形式

2. U 形件弯曲模

根据弯曲件的要求，常用的 U 形件弯曲模有图 2－90 所示的几种结构形式：图 2－90(a)所示为开底凹模，用于底部不要求平整的工件。图 2－90(b)用于底部要求平整的弯曲件。图 2－90(c)用于料厚公差较大而外侧尺寸要求较高的弯曲件，其凸模为活动结构，可随料厚自动调整凸模横向尺寸。图 2－90(d)用于料厚公差较大而内侧尺寸要求较高的弯曲件，凹模两侧为活动结构，可随料厚自动调整。图 2－90(e)所示为精弯模，两侧的凹模活动镶块用转轴分别与顶板铰接。弯曲前顶杆将顶板顶出凹模面，弯曲时工序件与凹模活动镶块一起运动，保证

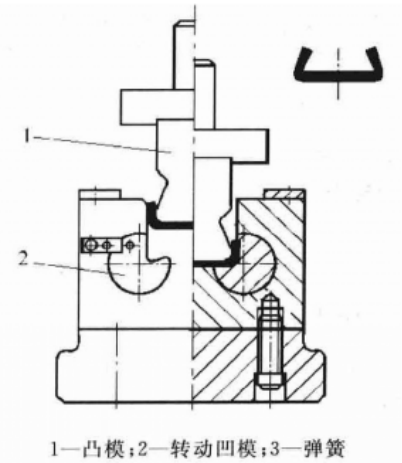
了两侧孔的同轴。图 2－90(f)所示为弯曲件两侧壁厚变薄的弯曲模。



1—凸模；2—凹模；3—弹簧；4—凸模活动镶块；5—凹模活动镶块；6—定位销；7—转轴；8—顶板

图 2－90　U 形件弯曲模

图 2－91 是弯曲角小于 90°的 U 形弯曲模。压弯时凸模首先将坯料弯曲成 U 形，当凸模继续下压时，两侧的转动凹模使坯料最后压弯成弯曲角小于 90°的 U 形件。凸模上升，弹簧使转动凹模复位，工件则由垂直图面方向从凸模上卸下。



1—凸模；2—转动凹模；3—弹簧

图 2－91　弯曲角小于 90°的 U 形弯曲模

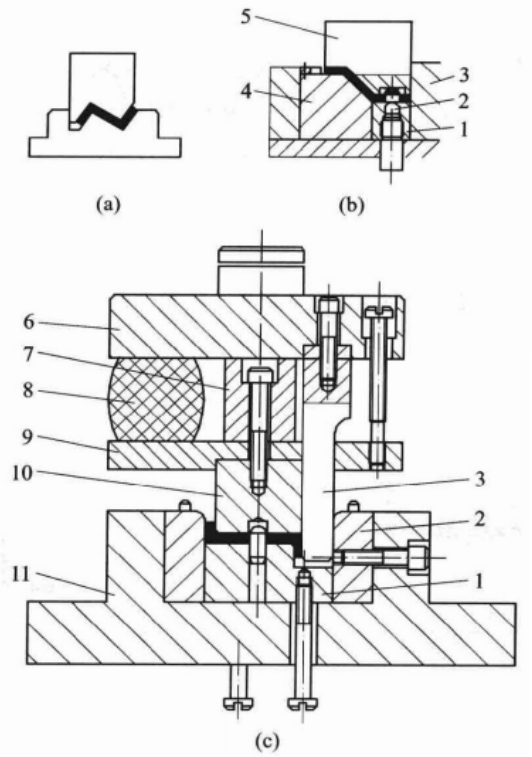
3. Z 形件弯曲模

Z 形件一次弯曲即可成型。图 2－92(a)结构简单，但由于没有压料装置，压弯时坯料容易滑动，只适用于要求不高的零件。

图 2－92(b)为有顶板和定位销的 Z 形件弯曲模，能有效防止坯料的偏移。反侧压块的作用是克服上、下模之间水平方向的错移力，同时也为顶板导向，防止其窜动。

图 2－92(c)所示的 Z 形件弯曲模，在冲压前活动凸模 10 在橡胶 8 的作用下与凸模 4 端面齐平。冲压时活动凸模与顶板 1 将坯料压紧，由于橡胶 8 产生的弹压力大于顶板 1 下方缓冲器所产生的弹顶力，推动顶板下移使坯料

左端弯曲。当顶板接触下模座 11 后，橡胶 8 压缩，则凸模 4 相对于活动凸模 10 下移将坯料右端弯曲成型。当压块 7 与上模座 6 相碰时，整个工件得到校正。



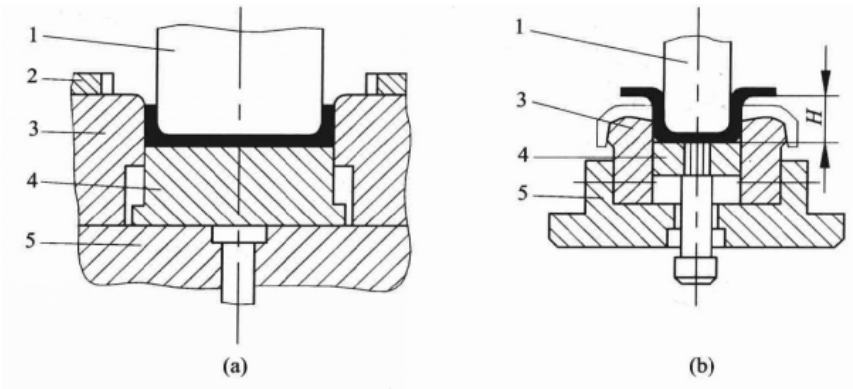
1—顶板；2—定位销；3—反侧压块；4—凸模；5—凹模；6—上模座；7—压块；8—橡胶；9—凸模托板；10—活动凸模；11—下模座

图 2-92　Z 形件弯曲模

4. 帽罩形件弯曲模

帽罩形件可以一次弯曲成型，也可以分成两次成型。如果两次弯曲成型，则第一次先将工件弯曲成 U 形，然后再将 U 形件弯曲帽罩形，如图 2-93 所示。

帽罩形件一次弯曲成型模如图 2-94 所示，在弯曲过程中(图 2-94(a))，由于外角的弯曲线的位置在弯曲过程中是变化的，因此材料在弯曲时有拉长现象，零件脱模后，其外角形状不准确，



1—凸模；2—定位板；3—凹模；4—顶板；5—下模型

图 2-93　帽罩形件二次弯曲成型模

竖直边有变薄的现象，如图 2－94(b)所示。该模具只适用于工件弯曲高度不太高的场合。

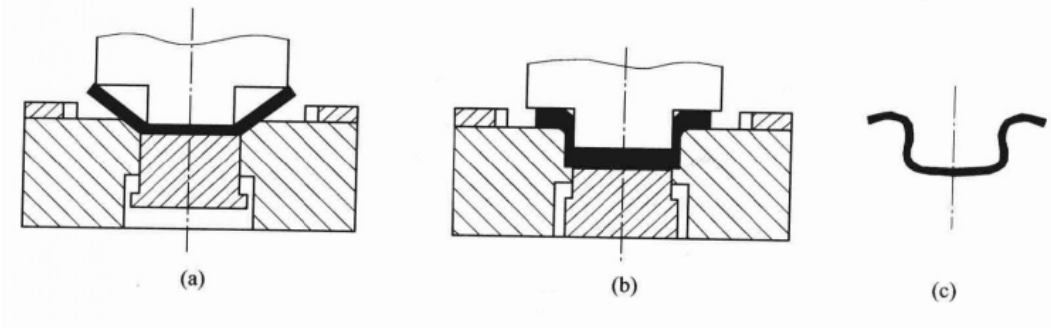
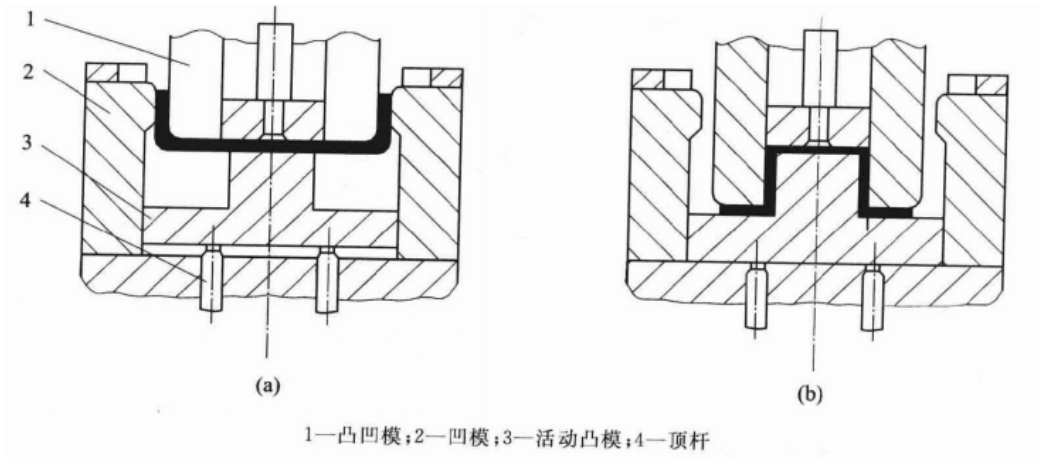


图 2－94　低帽罩形件一次弯曲成型模

当帽罩件较高时，可采用图 3－95 所示高帽罩形件一次弯曲成型复合模。



1—凸凹模；2—凹模；3—活动凸模；4—顶杆

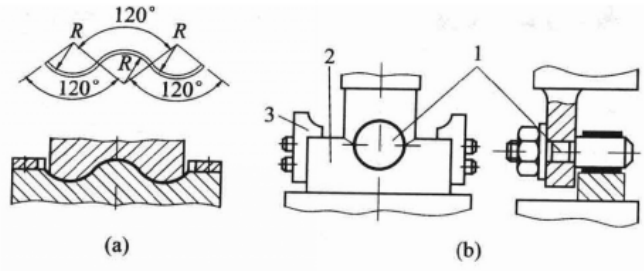
图 2－95　高帽罩形件一次弯曲成型复合模模

5. 圆形件弯曲模

圆形件的尺寸大小不同，其弯曲方法也不同，一般按直径分为小圆和大圆两种。

(1) 直径 $d \geqslant 20$ mm 的大圆形件

对直径 $d \geqslant 20$ mm 的大圆，用两道工序弯曲大圆的方法，先将坯料弯成波浪形，如图 2－96(a)所示，然后再用第二套模具弯成圆形，弯曲完毕后，工件顺凸模轴线方向取出工件，如图 2－96(b)所示。此外也可以用一道工序弯曲成型。图 2－97 是带摆动凹模的一次弯曲成型模，凸模下行先将坯料压成 U 形，凸模继续下行，摆动凹模将 U 形弯成圆形，弯曲成型后，工件顺凸模轴线方向推开支撑取下。这种模具生产率较高，缺点是弯曲件上部得不到校正，回弹较大。

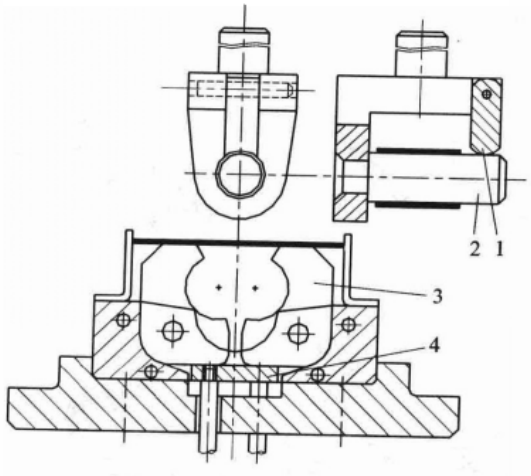


1—凸模；2—凹模；3—定位板

图 2－96　大圆两次弯曲模

(2) 直径 $d \leqslant 5$ mm 的小圆形件

对于直径 $d \leqslant 5$ mm 的小圆形件，一般先将坯料弯成 U 形，然后再弯成圆形。图 2－98 所示为用 2 套简单模弯圆的方法。由于工件小，分两次弯曲操作不便，可将两道工序合并。



1—支撑；2—凸模；3—摆动凹模；4—顶板

图 2－97　大圆一次弯曲成型模

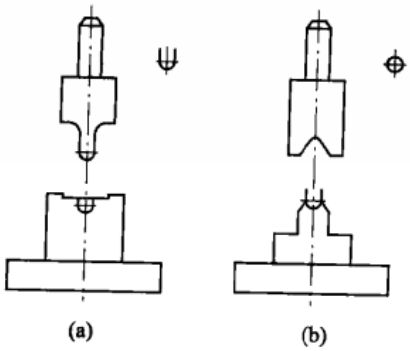


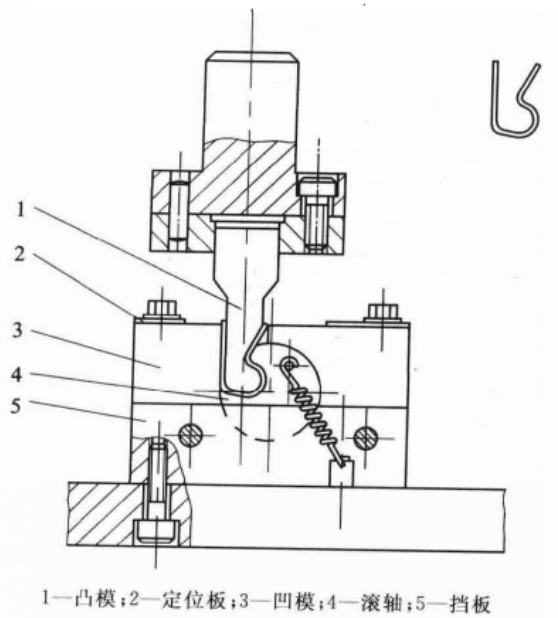
图 2－98　小圆弯曲模

6. 其他形状弯曲件的弯曲模

对于其他形状弯曲件，由于产品形状不同，其工序安排和模具设计只能根据弯曲件的形状等特点以及尺寸、精度要求，材料的性能以及生产批量等来考虑。

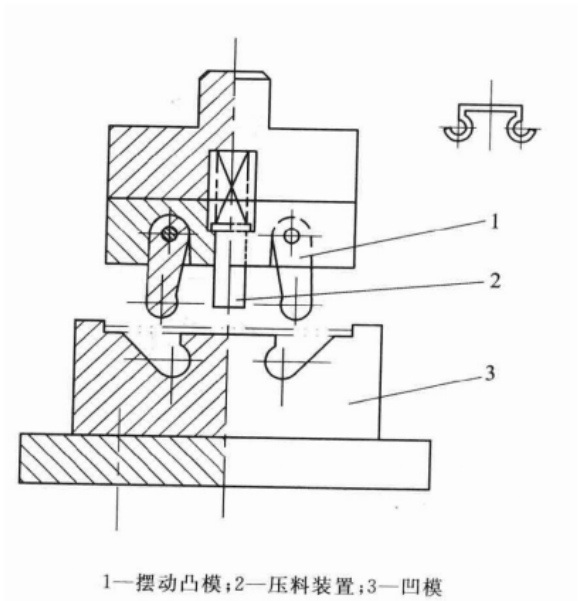
图 2－99 为滚轴式弯曲模，上模下行，先将工件弯曲成 U 形件，上模继续下行，当工件接触到滚轴以后，滚轴旋转，在与上模共同作用下，将工件弯曲成型。

图 2－100 为带摆动凸模弯曲模，上模下行时压料装置 2 将坯料压紧，上模继续下行，在凹模斜面的作用下，摆动凸模边下行，边摆动角度，最后将工件弯曲成型。



1—凸模；2—定位板；3—凹模；4—滚轴；5—挡板

图 2－99　滚轴式弯曲模



1—摆动凸模；2—压料装置；3—凹模

图 2－100　带摆动凸模弯曲模

7. 通用弯曲模

如果产品的产量较小或在产品开发阶段验证产品，通常是采用简易模或通用弯曲模，以此来降低生产成本或产品开发成本。简易模或通用弯曲模适应性强，成本低，具有较大的灵活性，不仅可以制造一般的 V 形、U 形零件，还可以制造精度要求不高的复杂形状的零件，常见的通用弯曲模如图 2－101 所示。

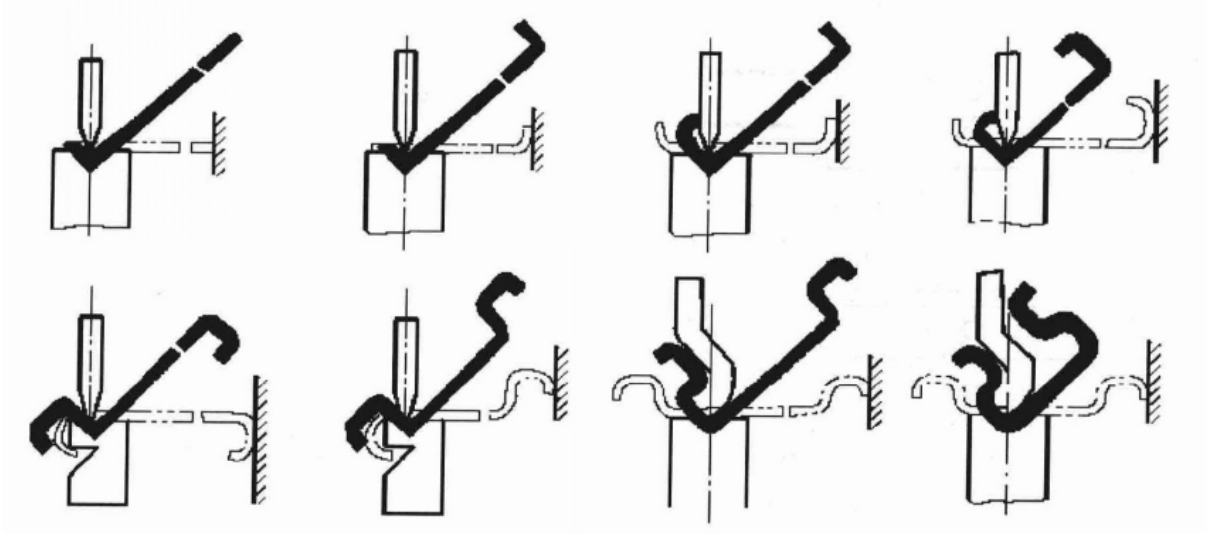


图 2－101　多次 V 形弯曲制造复杂零件

8. 复合弯曲模

复合模即在压力机的一个行程内，能完成两种或两种以上不同工序的模具。

图 2－102 是落料、弯曲、冲孔复合模，模具结构紧凑，由于采用一次定位，所以工件精度高，但模具维修困难。

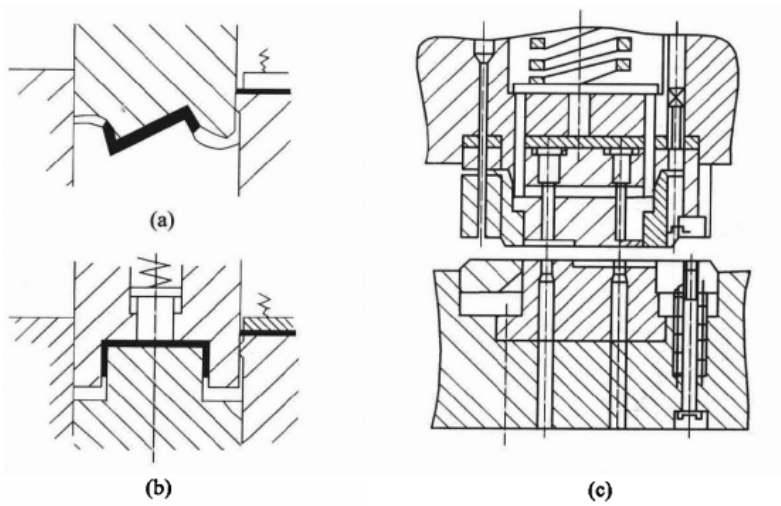


图 2－102　复合弯曲模

2.3.3　弯曲模设计实例

根据给定的条件设计弯曲模。

零件：压板，如图 2－103 所示

材料：10 钢

厚度：$t=1$ mm

产量：中批量生产

设计步骤：

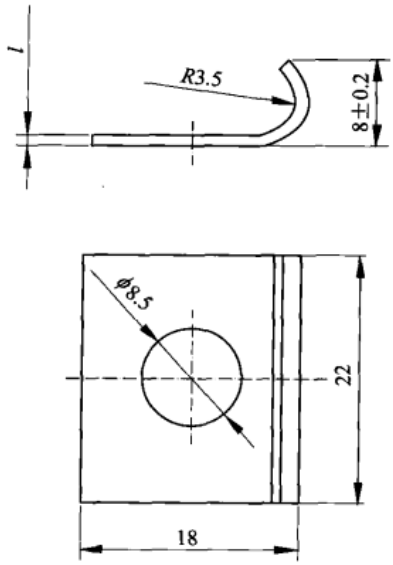


图 2－103　压板零件图

1. 零件的工艺性分析

根据工件的结构形状和中等批量要求，可采用先落料、冲孔复合冲裁制得弯曲坯料，再弯曲成型两道冲压工序获得该零件，这里只讨论弯曲工序。

根据零件的结构、尺寸、精度、材料及料厚均符合弯曲工艺性要求，相对弯曲半径 $r/t=3.5<5$，回弹量不大。但零件形状不对称，弯曲时主要解决好坯料的偏移问题。零件的弯曲部位是 $R3.5$ mm 的圆弧，图中所注高度尺寸为 8 mm有公差，其余均为自由公差，可计算出圆心角变化范围是 135°～147°，取中间值 141°进行模具设计。

2. 弯曲模具结构方案的确定

本模具采用的是楔块弯曲模，模具结构如图 2－104 所示。弯曲前，顶件块 7 与滑块 8(兼作凹模)的上表面平齐，坯料以 $\phi8.5$ 的孔套在定位销上定位。上模下行时，凸模 4 与顶件块将坯料压紧。继续下行，坯料在凸模与滑块的作用下开始弯曲，当凸模在弹簧 2 的作用下到达下止点时，完成圆弧的预弯曲。此时，滑块在斜楔 5 的作用下向左运动，当上模继续下行到达下止点时，滑块使零件弯曲成型，并产生校正力。上模回程时，凸模受弹簧 2 的作用先不动，滑块在弹簧 9 的作用下随斜楔 5 的上升向右移动复位，继而凸模上升，顶件块将零件顶出。该模具中，坯料受定位销的限制和顶件块的压紧作用，避免了弯曲时的偏移。同时，将凸模做成活动式，实现了用同一滑块既进行预弯又进行弯曲的先后动作，并避免了凸模回程时与滑块相碰而产生的干涉。

3. 有关设计计算

(1) 坯料展开长度的确定

弯曲件由直边和圆弧两部分组成，圆弧部分中性层位移系数由 $r/t=3.5$ 查表 2－22 得 $x=0.41$。圆弧中心角 $\alpha=141°$，直线部分长度 $l=18-4.5=13.5$ mm，故坯料的展开长度为：

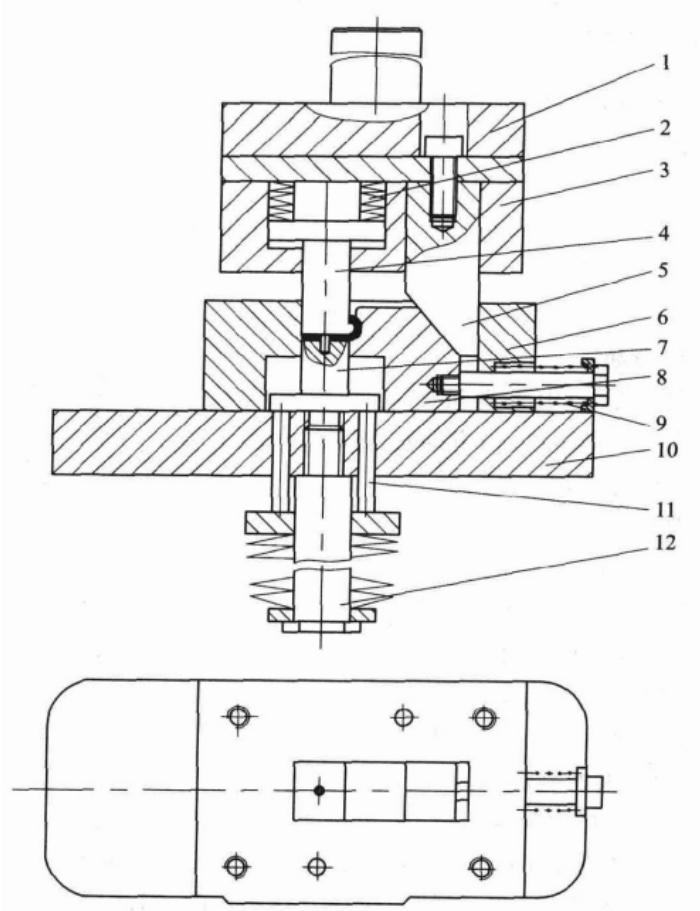
$$L=l+\frac{\pi\alpha}{180}(r+xt)=13.5\text{ mm}+\frac{3.14\times141}{180}\times(3.5+0.14\times1)\text{ mm}=23.1\text{ mm}$$

(2) 弯曲力

弯曲过程有两步，第一步是凸模向下运动的弯曲，第二步是通过滑块向左推压圆弧的弯曲，并施加校正力。

第一步弯曲的弯曲力按自由弯曲计算，由式(2－41)，取 $\sigma_b=400$ MPa，得

$$F_1=\frac{0.6Kbt^2\sigma_b}{r+t}=\frac{0.6\times1.3\times22\times1^2\times400}{3.5+1}\text{ N}=1\,525\text{ N}$$



1—上模座；2—凸模被压弹簧；3—凸模固定板；4—凸模；5—斜楔；6—下固定板；7—顶件块；8—滑块；9—复位弹簧；10—下模座；11—顶杆；12—弹顶器

图 2-104　压板弯曲模结构总图

第二步弯曲的弯曲力按校正弯曲计算，由式(2-43)，取 $p=30$ MPa，得

$$F_2 = pA = 30 \times 22 \times 8 = 5\ 280\ \text{N}$$

校正力是通过斜楔传递给滑块的，取斜楔的角度为 45°，故总弯曲力为

$$F = F_1 + F_2 = 1\ 525 + 5\ 280 = 6\ 850\ \text{N}$$

(3) 弹　簧

1) 凸模背压弹簧

对凸模背压弹簧的基本要求是：

① 弹簧的预压力必须大于初始弯曲力 1 525 N，以便实现由弹簧的弹力完成对坯料的预弯曲；

② 凸模达到下止点时才开始与凸模固定板有相对运动，此时斜楔才开始推动滑块向左运动 2.5 mm，由凸、凹模间隙及工作部位尺寸关系确定，如图 2-105 所示，因斜楔的角度为 45°，故凸模在固定板中的行程也是 2.5 mm，也就是弹簧预压后进一步的压缩量为 2.5 mm。

由于需要弹簧产生的弹力较大，而弹簧尺寸又受安装空间的限制，因此只宜采用弹力较大的碟形弹簧。可通过初步计算并对照有关碟形弹簧标准选取。具体选用 8 片外径 50 mm、料

厚 2 mm 的碟形弹簧组成弹簧组。

2）弹顶器弹簧。

弹顶器弹簧的预压力同样也要大于 1 525 N。同时，根据弯曲件尺寸要求并考虑凹模强度，凸模从接触坯料到弯曲成型需要下行 14 mm，也就是弹顶器的工作行程为 14 mm。考虑到弹顶器弹簧行程大的特点，具体采用 40 片碟形弹簧并与凸模背压弹簧规格相同的弹簧组。

3）滑块复位弹簧。

滑块复位弹簧只要求在上模回程时能使滑块可靠复位，可采用一般圆柱螺旋压缩弹簧。查有关标准，选用弹簧 1.6×15×22(GB/T 2089—1994)，弹簧的极限压缩量为 15.2 mm，极限工作压力为79.6 N。

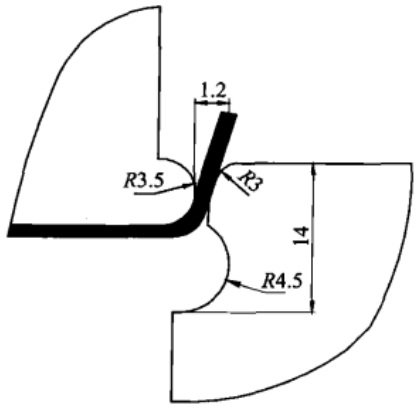


图 2－105　凸模与滑块工作部分尺寸关系

(4) 弯曲回弹

因圆弧部分的相对弯曲半径 $r/t=3.5<5$，故半径的回弹值可以忽略。凸模工作部分设计成半圆形，补偿角度的回弹量也足够，因此也不计算。为了保证其形状，施加校正力以保证弯曲件的质量。

(5) 凸模与滑块工作部位尺寸确定

滑块(凹模)在初始位置要配合凸模完成第一次弯曲，然后滑块在斜楔的作用下向左移动，完成圆弧部位的弯曲成型，凸模与凹模的间隙用式(2－46)计算，由表 2－28 查得系数 $C=0.10$，则：

$$Z = t_{max} + ct = 1.1 \times 1 = 1.2 \text{ mm}$$

因弯曲半径的回弹值可以忽略，故凸模圆角半径 $r_T=r=3.5$ mm。凹模的圆角取 $r_A=3t=3$ mm。凸模与滑块(凹模)工作部位尺寸关系见图 2－105。由图可以看出，当滑块移动行程为 2.5 mm 时，就可使滑块的 $R4.5$ mm 的圆心与凸模 $R3.5$ mm 的圆心重合，因此滑块的行程即为 2.5 mm。

4. 主要模具零件的设计

(1) 凸　模

凸模上部的圆柱是碟形弹簧的导向杆，至下止点时，凸模的上顶面与垫板接触，对工件施加压力。凸模上部圆柱的直径稍小于弹簧内径(25.4 mm)，取 24 mm。圆柱的高度是弹簧压缩变形后的高度，每片弹簧高度是 3.4 mm，工作时的总压缩量是 0.7 mm，故圆柱的高度为 $(3.4-0.7)\times 8=21.6$ mm。凸模的中间部位是圆柱形台肩，直径取 50 mm，下部为工作部分，具体结构尺寸如图 2－106。

(2) 滑　块

滑块的斜面、底面和台阶面是滑动工作面，表面要求光滑。滑块的上面是坯料定位面，左侧圆弧部位是弯曲凹模的工作部分，具体结构如图 2－107 所示。滑块的右侧有螺纹孔，通过安装螺栓和弹簧，用于滑块的复位。

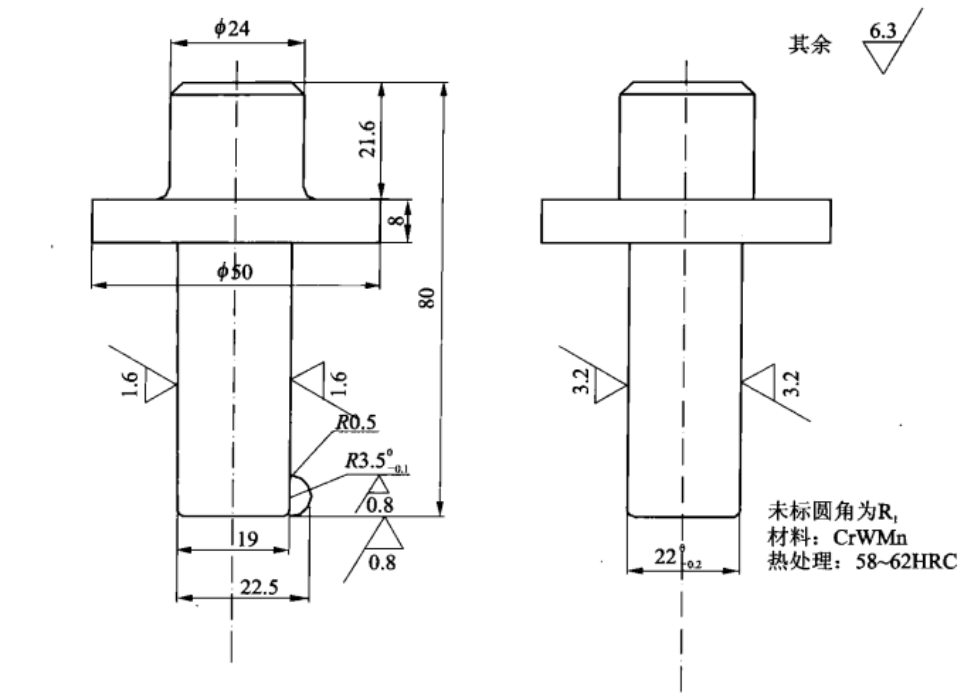


图 2-106　弯曲凸模

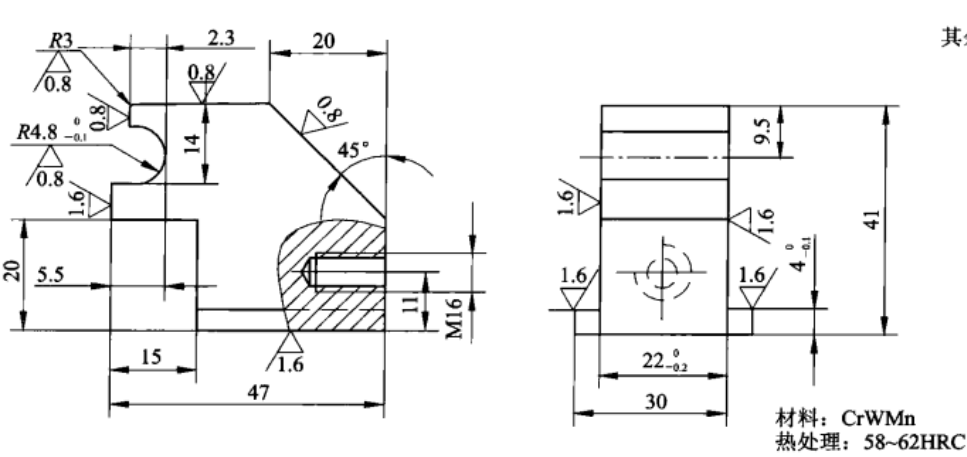


图 2-107　滑　块

(3) 斜　楔

斜楔的横截面为矩形，其宽度可比滑块的宽度略小，取 21 mm，为防止与固定板干涉，长度取 24 mm。斜楔的斜面及与斜面相对的侧面是滑动工作面，斜楔与凸模固定板采用 H7/k6 配合，并用 M10 的螺栓将斜楔固定在垫板上。为了便于调整圆弧部位的间隙，并控制校正力的大小，斜楔与固定板之间可设置调整垫片。

(4) 顶件块

顶件块在弹顶器的作用下，与凸模形成足够的压紧力而完成第一次弯曲，并对坯料起定位作用。顶件块上部为矩形，其宽度与坯料相等，并设有定位销，弯曲前坯料的 8.5 孔套在定位销上定位。顶件块下部为圆柱形，外径可与碟形弹簧外径相等，底面通过 4 个顶杆与弹顶器相接触。

当模具处于开启状态时，顶件块在弹顶器的作用下，其上表面与滑块等高，以便于坯料的定位。

2.4　拉深模设计

拉深又称拉延、压延或引伸，它是利用拉深模具在压力机的压力作用下，将预先剪裁或冲裁成一定形状的平板毛坯，拉制成空心件的加工方法。将板料拉制成各种空心件的模具称为拉深模。

拉深成型是冲压生产中应用最广泛的工序之一。以拉深成型为主体的冲压件非常多。采用拉深工艺可以制成圆筒形、圆锥形、矩形及多种形状的空心零件。拉深可分为不变薄拉深和变薄拉深。不变薄拉深成型后的零件，其各部分的厚度与拉深前毛坯厚度相比，基本不变；而变薄拉深成型后的零件，其壁厚与原毛坯厚度相比则有明显的变形。这里主要介绍实际生产中应用较多的不变薄拉深成型方法。

2.4.1　拉深工艺及设计计算

1. 拉深过程分析

拉深时压边圈先把平板毛坯压紧，凸模下行，强迫位于压边圈下的材料（凸缘部分）产生塑性变形而流入凸凹模间隙形成圆筒侧壁。

为了说明在拉深过程中坯料的变形情况，在平板坯料上，沿直径方向画出一个局部的扇形区域。当凸模下压时，将坯料拉入凹模，扇形变为以下 3 部分：筒底部分、筒壁部分、凸缘部分。凸模继续下压，筒底部分不再变形，而凸缘部分逐步缩小，其材料转变为筒壁，使筒壁部分逐步增高直至凸缘部分全部转变为筒壁。由此可见平板圆形坯料在拉深过程中，变形主要是集中在凹模面上的凸缘部分，即拉深过程的实质就是凸缘部分逐步缩小转变为筒壁的过程。坯料的凸缘部分是变形区，底部和已形成的筒壁为传力区，如图 2－108 所示。

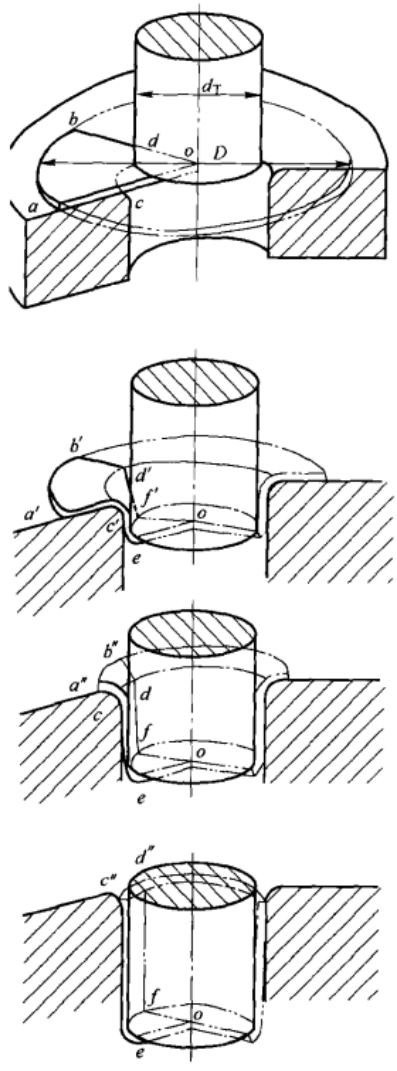


图 2－108　拉深变形过程

2. 拉深过程的起皱与拉裂

起皱和拉裂是拉深过程中需要解决的主要工艺问题。

（1）起　皱

拉深过程中，凸缘变形区的每个小扇形块受到切向压应力的作用。当切向压应力过大，扇形块又较薄，切向压应力超过该扇形块的临界压力时，扇形块就会失稳弯曲而拱起，当沿着圆周的每个小扇形块都拱起时，就会在凸缘变形区沿着切向形成高低不平的皱褶，这种现象称为起皱。

如果凸缘区起皱严重，则坯料不可能通过凸、凹模之

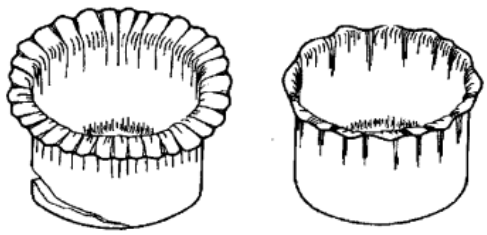


图 2-109　拉深件的起皱现象

间的间隙而进入凹模，导致坯料开裂；如果凸缘区起皱轻微，则坯料勉强通过凸、凹模之间的间隙，但在拉深件的侧壁会留下起皱的痕迹，严重影响拉深件的表面质量，同时也会使材料与模具之间的磨损加剧，降低模具的寿命。图 2-109 表示起皱后的拉深件。

防止起皱可以通过加压边圈来限制毛坯拱起，也可以通过减小拉深变形程度或加大毛坯厚度来降低起皱的可能。

(2) 拉　裂

坯料内各部分的受力关系如图 2-110 所示。受的拉应力除了与径向拉应力有关之外，还与由于压边力 F_Y 引起的摩擦阻力、坯料在凹模圆角表面滑动所产生的摩擦阻力和弯曲变形所形成的阻力有关。在拉深过程中筒壁内最大的拉应力瞬间及之前是可能发生拉裂的危险阶段。

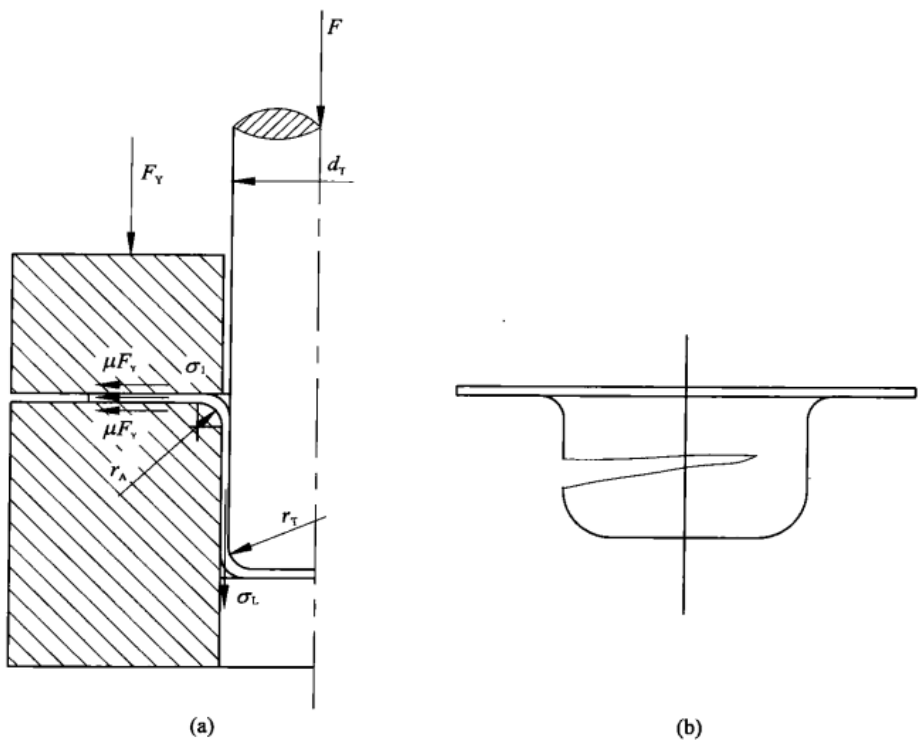


图 2-110　拉深件的拉裂现象

拉深工艺能否顺利进行的另一个关键问题是筒壁传力区的拉裂，这主要取决于两方面：一方面是筒壁传力区中的拉应力 σ_L；另一方面是筒壁传力区抗拉强度。当筒壁拉应力 σ_L 超过筒壁材料的抗拉强度时，拉深件壁部就产生破裂。

为保证拉深工艺顺利进行的必要条件得到满足，必须正确确定拉深系数；合理设计拉深模工作零件，认真分析或改善原材料的拉深成型工艺性；注意拉深过程的润滑等。

3. 拉深件的工艺性

(1) 拉深件的结构、形状

① 拉深件的设计应适应拉伸工艺，力求简单、对称，以便于拉伸成型。高度小于直径的圆筒形件容易成型，其次是阶梯形件、矩形件、锥形件、半球形件，而复杂形状制件的拉深则较为困难。对于不对称的空心件，为避免受力不对称而使成型困难，设计时应尽可能把几个制件合并成对称形状一起拉深成型，然后剖开。

② 需多次拉深的工件，在保证必要的表面质量前提下，应允许内、外表面存在拉深过程中可能产生的痕迹。

③ 在保证装配要求的前提下，应允许拉深件侧壁有一定的斜度。

④ 如图 2－111 所示，拉深件的底或凸缘上的孔边到侧壁的距离应满足 $a \geqslant R+0.5t$ 或 $(r_d+0.5t)$。

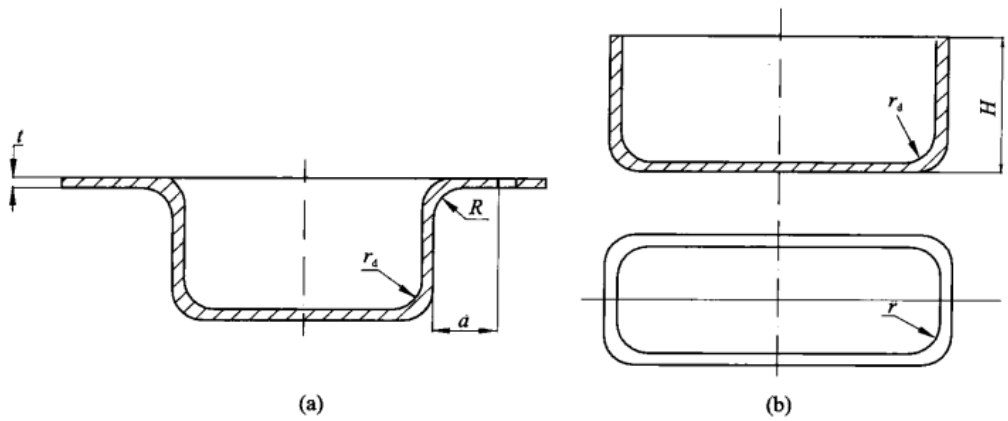


图 2－111　拉深件的孔边距及相关尺寸

⑤ 如图 2－111 所示，拉深件的底与壁、凸缘与壁、矩形件四角的圆角半径应满足：$r_d \geqslant t$，$R \geqslant 2t$，$r \geqslant t$。

⑥ 拉深件的高度 h 对拉深成型的次数和成型质量均有重要的影响，常见工件一次拉深成型的拉深高度为

无凸缘筒形件　$H \leqslant (0.5 \sim 0.7)d$　(d 为拉深件壁厚中径)

有凸缘筒形件　$d_1/d \leqslant 1.5$ 时，$H \leqslant (0.4 \sim 0.6)d$　(d_1 为拉深件凸缘直径)。

⑦ 拉深件不能同时标注内外形尺寸；带台阶的拉深件，其高度方向的尺寸标注一般应以底部为基准。

(2) 拉深件的尺寸精度

拉深件的尺寸精度应在 IT13 级以下，不宜高于 IT11 级，如高于 IT11，则需增加校形工序。

4. 拉深工艺计算

(1) 拉深件毛坯尺寸的确定

拉深件毛坯形状和尺寸确定正确与否，不仅影响材料的合理使用，而且影响拉深件的变形过程。在计算毛坯的形状和尺寸的时候可以依据相似原理和体积不变原理，分别采用等重量法、等体积法、等表面积法、分析图解法和作图法来求解坯料尺寸，实际工作当中常采用等表面

积法来确定坯料尺寸。

由于材料性能、模具几何参数、润滑条件、拉深系数以及工件集合形状等多种因素的影响，用理论计算方法确定坯料尺寸不是绝对准确的，而是近似的，尤其是变形复杂的深件，有时拉深的实际结果与计算值有较大出入，应根据具体情况予以修正。对于形状复杂的拉深件，通常是先做好拉深模，以理论分析方法初步确定的坯料进行试模，反复修正，直至得到的冲件符合要求时，再将符合要求的坯料形状和尺寸作为制造落料模的依据。对于大型覆盖件，先经过理论分析后，采用近似的坯料形状，拉深后进行修边。

1）修边余量的确定

由于金属板料具有板平面方向性和模具几何形状等因素的影响，会造成拉深件口部不整齐，尤其是深拉深件。通常采取加大工序件高度或凸缘宽度的办法，拉深后再经过切边保证工件质量。切边余量可参考表 2－29 和表 2－30。

表 2－29　无凸缘拉深件的修边余量 Δh　　mm

拉深高度 h	拉深相对高度 h/d			
	>0.5～0.8	>0.8～1.6	>1.6～2.5	>2.5～4
≤10	1.0	1.2	1.5	2
>10～20	1.2	1.6	2	2.5
>20～50	2	2.5	3.3	4
>50～100	3	3.8	5	6
>100～150	4	5	6.5	8
>150～200	5	6.3	8	10
>200～250	6	7.5	9	11
>250	7	8.5	10	12

注：1 对正方形或矩形可用 h/b 代替相对高度，b 为矩形件的短边高度；

2 对多次拉深件应有中间修边工序；

3 对材料厚度小于 0.5 mm 的薄壁多次拉深件应按表值放大 30%。

表 2－30　有凸缘圆筒形拉深件的修边余量 ΔR　　mm

凸缘直径 d_t	工件的相对直径 d_t/d			
	≤1.5	>1.5～2.0	>2～2.5	>2.5～3
≤25	1.8	1.6	1.4	1.2
>25～50	2.5	2.0	1.8	1.6
>50～100	3.5	3.0	2.5	2.2
>100～150	4.3	3.6	3.0	2.5
>150～200	5.0	4.2	3.5	2.7
>200～250	5.5	4.6	3.8	2.8
>250	6	5	4	3

2）简单形状拉深件毛坯尺寸计算

由于拉深后工件的平均厚度与毛坯厚度相比较变化不大，可以近似的认为毛坯在拉深过

程中厚度不变，因此可以根据工件表面积等于毛坯表面积这一原则来计算毛坯尺寸。

以图 2－112 中无凸缘圆筒形拉深件为例计算毛坯尺寸。将拉深件分解成圆筒直壁部分（面积为 A_1）、圆弧旋转而成的球台部分（面积为 A_2）以及底部圆形平板（面积为 A_3）3 部分，并设毛坯直径为 D、面积为 A，则：

$$A = \frac{\pi}{4}D = A_1 + A_2 + A_3$$

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi}A}$$

$$A_1 = \pi d(H - r)$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4}[2\pi r(d - 2r) + 8r^2]$$

$$A_3 = \frac{\pi}{4}(d - 2r^2)$$

将 A_1，A_2，A_3 代入上式，可得

$$D = \sqrt{d^2 + 4dH - 1.72dr - 0.56r^2} \tag{2-53}$$

按照类似方法，同样可以计算出图 2－113 所示的有凸缘圆筒形拉深件的毛坯直径 D：

$$D = \sqrt{(d_1 + 2\Delta R)^2 + 4dh - 1.72(R + r)d - 0.56(R^2 - r^2)}$$

若 $R=r$，则可得

$$D = \sqrt{(d_1 + 2\Delta R)^2 + 4dh - 3.44rd} \tag{2-54}$$

说明：对于上述公式，当板料厚度 $t<1$ mm 时，可以以外径和外高或内部尺寸代入进行计算，得到的毛坯尺寸误差不大；当板料厚度 $t\geqslant 1$ mm 时，则各个尺寸以拉深件厚度的中线尺寸代入进行计算。

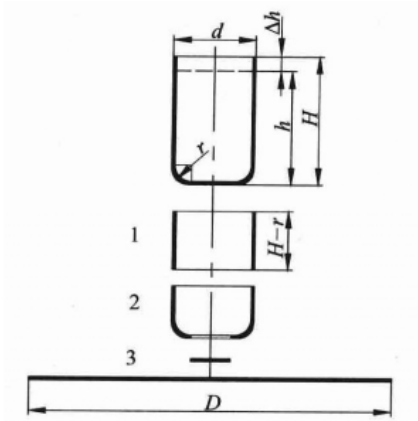


图 2－112　无凸缘圆筒形拉深件及毛坯图

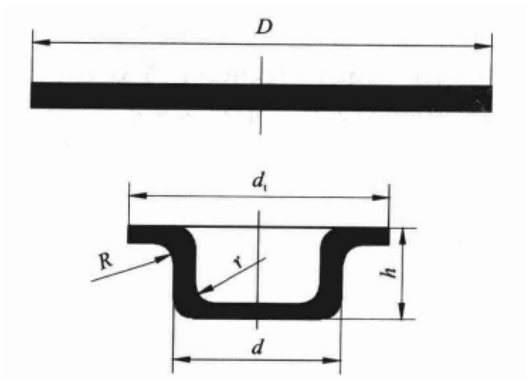


图 2－113　有凸缘圆筒形件及毛坯图

（2）简单形状拉深件拉深工序的计算

1）无凸缘圆筒形件拉深工序的计算

① 拉深系数

拉深系数是指拉深后工件与拉深前工件（或毛坯）直径之比。图 2－114 为圆筒形件的多次拉深示意图。

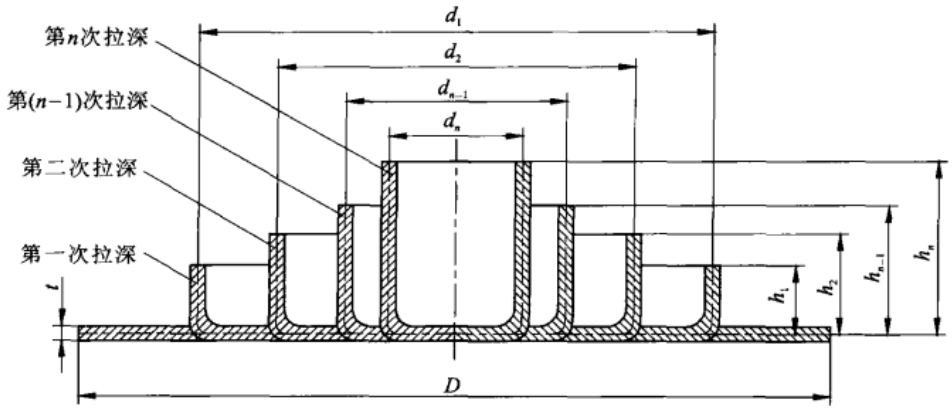


图 2-114　无凸缘圆筒形件的多次拉深

其各次拉深系数为：$m_1=\dfrac{d_1}{D}, m_2=\dfrac{d_2}{d_1}, \cdots, m_n=\dfrac{d_n}{d_{n-1}}$

式中：D ——坯料直径；

m_1, m_2, m_n—— 第 1,2,…,n 次拉深系数；

$d_1, d_2, \cdots, d_{n-1}, d_n$——第 1,2,…,$n$ 次拉深后的直径(中径)。

工件直径 d_n 与毛坯直径之比称为总拉深系数：

$$m_{总}=\frac{d_n}{D}=\frac{d_1}{D}\times\frac{d_2}{d_1}\times\cdots\times\frac{d_n}{d_{n-1}}=m_1\times m_2\times\cdots\times m_n \qquad (2-55)$$

即总拉深系数为各次拉深系数的乘积。

拉深系数是衡量拉深变形程度的指标，拉深系数愈小，说明拉深变形程度愈大；相反，变形程度愈小。

极限拉深系数即使拉深件不破裂的最小拉深系数。因此，为了保证拉深工艺的顺利进行，就必须使拉深系数大于极限拉深系数，小于这个数值，就会使拉深件起皱、破裂或严重变薄而超差。生产上采用的极限拉深系数是考虑了各种具体条件后用实验方法求出的。通常 $m_1=0.46\sim0.60$，以后各次的拉深系数在 0.70～0.86 之间。无凸缘圆筒形工件有压边圈和无压边圈的拉深系数分别可查表 2-31 和表 2-32。

表 2-31　圆筒形件的拉深系数(带压边圈)

拉深系数	坯料相对厚度$(t/D)\times100$					
	2.0～1.5	1.5～1.0	1.0～0.6	0.6～0.3	0.3～0.15	0.15～0.08
m_1	0.48～0.50	0.50～0.53	0.53～0.55	0.55～0.58	0.58～0.60	0.60～0.63
m_2	0.73～0.75	0.75～0.76	0.76～0.78	0.78～0.79	0.79～0.80	0.80～0.82
m_3	0.76～0.78	0.78～0.79	0.79～0.80	0.80～0.81	0.81～0.82	0.82～0.84
m_4	0.78～0.80	0.80～0.81	0.81～0.82	0.82～0.83	0.83～0.85	0.85～0.86
m_5	0.80～0.82	0.82～0.84	0.84～0.85	0.85～0.86	0.86～0.87	0.87～0.88

注：1 表中拉深系数适用于 08 钢、10 钢和 15Mn 钢等普通拉深碳钢及黄铜 H62。对拉深性能较差的材料，如 20 钢、25 钢、Q235 钢、硬铝等比表中数值大 1.5%～2.0%；而对塑性较好的材料，如 05 钢、08 钢、10 钢及软铝等应比表中数值小 1.5%～2.0%；

2 若采用中间退火工序时，则取值应比表中数值小 2%～3%；

3 表中较小值适用于大的凹模圆角半径 $r_A=(8\sim15)t$，较大值适用于小的凹模圆角半径 $r_A=(4\sim8)t$。

表 2-32　圆筒形件的拉深系数(不带压边圈)

拉深系数	坯料的相对厚度$(t/D)\times100$				
	1.5	2.0	2.5	3.0	>3
m_1	0.65	0.60	0.55	0.53	0.50
m_2	0.80	0.75	0.75	0.75	0.70
m_3	0.84	0.80	0.80	0.80	0.75
m_4	0.87	0.84	0.84	0.84	0.78
m_5	0.90	0.87	0.87	0.87	0.82
m_6	—	0.90	0.90	0.90	0.85

注：此表适用于 08 钢、10 钢及 15Mn 钢等材料。其余各项同表 2-31 之注。

② 拉深次数

判断工件能否一次拉出，仅需比较所需的总拉深系数 $m_{总}$ 和第一次允许的极限系数 m_1 的大小即可。若 $m_{总}>m_1$，说明拉深该工件的实际变形程度比第一次容许的极限变形程度要小，所以工件可以一次拉成。若 $m_{总}<m_1$，则需要多次拉深才能成型零件。如果工件不能一次拉出，则有必要计算拉深次数，拉深次数通常用以下两种方法确定：

ⅰ. 根据工件的相对高度　即高度 h 与直径 d 的比值，从表 2-33 中查得。

ⅱ. 推算方法　根据已知条件，由表 2-31 或表 2-32 中查得各次的极限拉深系数，然后依次计算出各次的拉深直径，即 $d_1=m_1D$；$d_2=m_2d_2$；…；$d_n=m_nd_{n-1}$；直到 $d_n\leqslant d$。即当计算所得直径 d_n 小于或等于工件 d 直径时，计算的次数即为拉深次数。

表 2-33　筒形件相对高度 h/d 与拉深次数的关系(无凸缘圆筒形件)

拉深次数	坯料的相对厚度$(t/D)\times100$					
	2～1.5	1.5～1.0	1.0～0.6	0.6～0.3	0.3～0.15	0.15～0.08
1	0.9～0.77	0.8～0.65	0.7～0.57	0.62～0.5	0.5～0.45	0.4～0.38
2	1.8～1.54	1.6～1.32	1.36～1.1	1.1～0.94	0.9～0.83	0.9～0.70
3	3.5～2.7	2.8～2.2	2.3～1.8	1.9～1.5	1.6～1.3	1.3～1.1
4	5.6～4.3	4.3～3.5	3.6～2.9	2.9～2.4	2.4～2.0	2.0～1.5
5	8.9～6.6	6.6～5.1	5.2～4.1	4.1～3.3	3.3～2.7	2.7～2.0

注：1 大的 h/d 值适用于第一道工序的大凹模圆角 $r_A\approx(8\sim15)t$；

2 小的 h/d 值适用于第一道工序的小凹模圆角 $r_A\approx(4\sim8)t$；

3 表中数据适用材料为 08F 钢、10G 钢。

③ 各次拉深工序件尺寸的确定

ⅰ. 工序件直径 d_n 的确定

拉深次数确定之后，由表查得各次拉深的极限拉深系数，并加以调整，使实际采用的拉深系数大于推算拉深系数时，所用的极限拉伸系数调整的原则是：

保证 $m_1m_2\cdots m_n=\dfrac{d}{D}$

使 $m_1<m_2<\cdots<m_n$

式中：d——工件直径；

D——坯料直径。

最后按调整后的拉深系数计算各次工序件直径：

$$\begin{aligned} d_1 &= m_1 D \\ d_2 &= m_2 d_1 \\ &\vdots \\ d_n &= m_n d_{n-1} \end{aligned} \tag{2-56}$$

ⅱ. 工序件高度 h_n 的计算

根据无凸缘圆筒形件坯料尺寸的计算，推导出各次工序件高度的计算公式如下：

$$\left.\begin{aligned} h_1 &= 0.25\left(\frac{D^2}{d_1}-d_1\right)+0.43\frac{r_1}{d_1}(d_1+0.32r_1) \\ h_2 &= 0.25\left(\frac{D^2}{d_2}-d_2\right)+0.43\frac{r_2}{d_2}(d_2+0.32r_2) \\ &\vdots \\ h_n &= 0.25\left(\frac{D^2}{d_n}-d_n\right)+0.43\frac{r_n}{d_n}(d_n+0.32r_n) \end{aligned}\right\} \tag{2-57}$$

式中：$d_1, d_2, \cdots, d_n$—— 各次工序件直径(中线值)；

$h_1, h_2, \cdots, h_n$—— 各次工序件高度(中线值)；

$r_1, r_2, \cdots, r_n$——各次工序件底部圆角半径(中线值)；

D——坯料直径。

2) 有凸缘圆筒形件拉深工序的计算

凸缘件有小凸缘和宽凸缘之分，$d_t/d=1.1\sim1.4$ 的凸缘圆件称为小凸缘件，$d_t/d>1.4$ 的凸缘件称为宽凸缘件。

有凸缘圆筒形件工件的拉深过程，其拉深变形原理与无凸缘圆筒形件是相同的，有凸缘圆筒形件拉深时，可将其看成是无凸缘圆筒形件在拉深未结束时的半成品。坯料凸缘部分不是全部进入凹模口部，只是拉深到凸缘外径等于工件凸缘直径(包括切边余量)时，拉深工作就停止，故其拉深方法及计算方法与无凸缘圆筒形件还是有一定差别，主要差别在于首次拉深。

① 拉深系数和拉深次数

有凸缘圆筒形件的拉深系数为

$$m_t = \frac{d}{D}$$

式中：d—— 工件筒形部分的直径；

m_t——有凸缘圆筒形件的拉深系数；

D—— 坯料直径。

如图 2-113 所示，当 $r=R$ 时，

$$D = \sqrt{d_t^2 + 4dh - 3.44dR}$$

所以

$$m_t = \frac{d}{D} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{d_t}{d}\right)^2 + 4\frac{h}{d} - 3.44\frac{R}{d}}} \tag{2-58}$$

由此可知，有凸缘圆筒形件的拉深系数取决于下列有关尺寸的 3 组相对比值：d_t/d(凸缘

的相对直径)、h/d(工件的相对高度)、R/d(相对圆角半径),其中以 d_1/d 影响最大,h/d 次之,R/d 影响最小。d_1/d 和 h/d 越大,表示拉深时毛坯变形区的宽度大,拉深成型的难度也大。当 d_1/d 和 h/d 超过一定值时,便不能一次拉深。表 2-34 是首次拉深可能达到的极限相对高度,表 2-35 表示的是有凸缘圆筒形件首次拉深的极限拉深系数。

表 2-34　有凸缘的圆筒形件首次拉深的极限相对高度 h_1/d_1

凸缘的相对直径 $\frac{d_1}{d}$	坯料的相对厚度$(t/D)\times100$				
	2～1.5	1.5～1.0	1.0～0.6	0.6～0.3	0.3～0.10
1.1 以下	0.90～0.75	0.82～0.65	0.70～0.57	0.62～0.50	0.52～0.45
1.3	0.80～0.65	0.72～0.56	0.60～0.50	0.53～0.45	0.47～0.40
1.5	0.70～0.58	0.63～0.50	0.53～0.45	0.48～0.40	0.42～0.35
1.8	0.58～0.48	0.53～0.42	0.44～0.37	0.39～0.34	0.35～0.29
2.0	0.51～0.42	0.46～0.36	0.38～0.32	0.34～0.29	0.30～0.25
2.2	0.45～0.35	0.40～0.31	0.33～0.27	0.29～0.25	0.26～0.22
2.5	0.35～0.28	0.32～0.25	0.27～0.22	0.23～0.20	0.21～0.17
2.8	0.27～0.22	0.24～0.19	0.21～0.17	0.18～0.15	0.16～0.13
3.0	0.22～0.18	0.20～0.16	0.17～0.14	0.15～0.12	0.13～0.10

表 2-35　有凸缘的筒形件第一次拉深的极限拉深系数

凸缘的相对直径 $\frac{d_1}{d}$	坯料的相对厚度$(t/D)\times100$				
	2～1.5	1.5～1.0	1.0～0.6	0.6～0.3	0.3～0.10
1.1 以下	0.51	0.53	0.55	0.57	0.59
1.3	0.49	0.51	0.53	0.54	0.55
1.5	0.47	0.49	0.50	0.51	0.52
1.8	0.45	0.46	0.47	0.48	0.48
2.0	0.42	0.43	0.44	0.45	0.45
2.2	0.40	0.41	0.42	0.42	0.42
2.5	0.37	0.38	0.38	0.38	0.38
2.8	0.34	0.35	0.35	0.35	0.35
3.0	0.32	0.33	0.33	0.33	0.33

注：1 表中大数值适于大的圆角半径[由 $t/D=2\%\sim1.5\%$ 时的 $R=(10\sim12)t$ 到 $t/D=0.3\%\sim0.1\%$时的 $R=(20\sim25)t$],小数值适用于底部及凸缘小的圆角半径,随着凸缘直径的增加及相对拉深深度的减少,其数值也跟着减少。

2 表中数值适用于 10 钢,对于比 10 钢塑性好的材料取接近表中的大值;对于塑性差的材料,取表中小数值。

当有凸缘圆筒形件的总拉深系数 $m_{总}=d/D$ 大于表 2-35 的极限拉深系数,且工件总的相对高度 h/d 小于表 2-34 的极限相对值时,则可以一次拉深成型,否则需要两次或多次拉深。判断拉深次数可仿照无凸缘圆筒形件的判断方法。

有凸缘圆筒形件以后各次拉深系数为:

$$m_i = d_i/d_{i-1}(i = 2,3,\cdots,n)$$

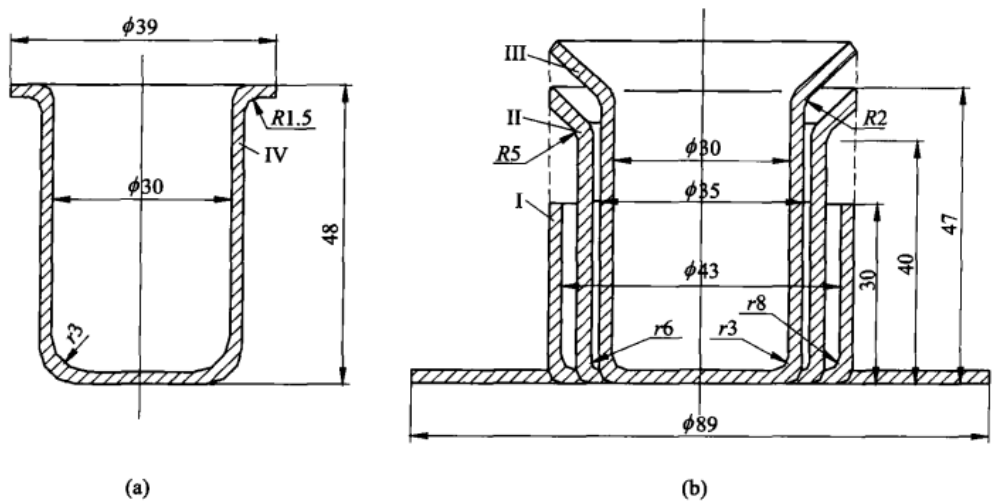
其值与凸缘宽度及外形尺寸无关，可取与无凸缘圆筒形件的相应拉深系数相等或略小的数值，见表 2－36。

表 2－36　有凸缘圆筒形件以后各次的极限拉深系数

拉深系数	坯料的相对厚度$(t/D)\times100$				
	2.0～1.5	1.5～1.0	1.0～0.6	0.6～0.3	0.3～0.1
m_2	0.73	0.75	0.76	0.78	0.80
m_3	0.75	0.78	0.79	0.80	0.82
m_4	0.78	0.80	0.82	0.83	0.84
m_5	0.80	0.82	0.84	0.85	0.86

② 有凸缘圆筒形件的拉深方法

ⅰ．小凸缘圆筒形件的拉深可以当作无凸缘圆筒形件进行拉深，只是在最后两道拉深工序中才将工序件加工出凸缘或有锥形的凸缘，最后通过整形工序，压成平面凸缘。图 2－115(a)(b)分别为小凸缘圆筒形件及其拉深工艺过程，材料为 10 钢，板厚为 1 mm。



Ⅰ—第 1 次拉深；Ⅱ—第 2 次拉深；Ⅲ—第 3 次拉深；Ⅳ—第 4 次拉深

图 2－115　小凸缘圆筒形件的拉深

ⅱ．宽凸缘圆筒形件的拉深方法

如果根据极限拉深系数或相对高度判断，拉深件不能一次拉深成型时，则需进行多次拉深。

在实际生产中，宽凸缘圆筒形件多次拉深的工艺方法通常有两种：

一是通过多次拉深，逐步缩小筒形部分直径以增加其高度(图 2－116(a))。用这种方法制成的零件，表面质量较差，其直壁和凸缘上保留着圆角弯曲和局部变薄的痕迹，需要在最后增加整体工序。

二是对于第一次拉深后的工序件，其凸缘处和底部的圆角半径很大，在以后各次拉深中，高度保持不变，逐步减少圆角和筒形部分直径而达到最终尺寸要求(图 2－116(b))。用这种

方法拉深的工件，表面质量较高，厚度均匀，不存在上述的圆角弯曲和局部变薄的痕迹。但它只适用于坯料的相对厚度较大，采用大圆角过渡不易起皱的情况。

③ 有凸缘筒形拉深工序件高度的计算

$$h_1 = \frac{0.25}{d_1}(D^2 - d_1^2) + 0.43(r_1 + R_1) + \frac{0.14}{d_1}(r_1^2 - R_1^2)$$

$$h_n = \frac{0.25}{d_n}(D^2 - d_n^2) + 0.43(r_n + R_n) + \frac{0.14}{d_n}(r_n^2 - R_n^2) \qquad (2-59)$$

式中：$h_1,\cdots,h_n$——各次拉深后工序件的高度；

$d_1,\cdots,d_n$——各次拉深后工序件的直径；

D——坯料直径；

$r_1,\cdots,r_n$——各次拉深后工序件的底部圆角半径；

$R_1,\cdots,R_n$——各次拉深后工序件的凸缘处圆角半径。

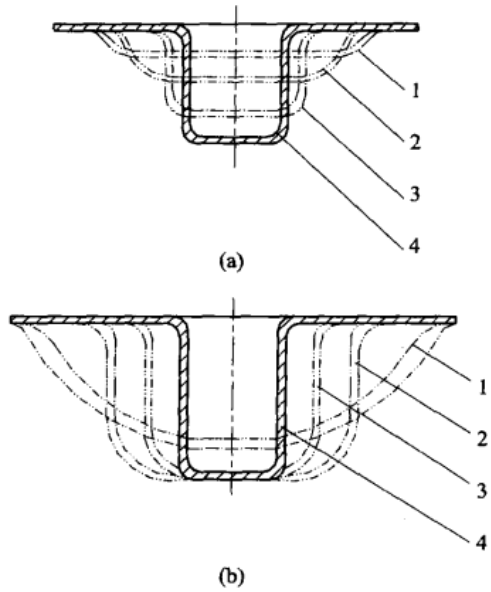


图 2-116　宽凸缘筒形件的拉深方法

(5) 拉深力与拉深功的计算

1) 拉深力的计算

在生产中常用以下经验公式进行计算：

采用压边圈拉深时

首次拉深

$$F = \pi d_1 t \sigma_b K_1 \qquad (2-60)$$

以后各次拉深

$$F = \pi d_i t \sigma_b K_2 \qquad (i = 2,3,\cdots,n) \qquad (2-61)$$

不采用压边圈拉深时

首次拉深

$$F = 1.25\pi(D - d_1)t\sigma_b \qquad (2-62)$$

以后各次拉深

$$F = 1.3\pi(d_{i-1} - d_i)t\sigma_b \qquad (i = 2,3,\cdots n) \qquad (2-63)$$

式中：F—— 拉深力；

t —— 板料厚度；

D —— 坯料直径；

$d_1,\cdots,d_n$—— 各次拉深后的工序件直径；

σ_b——拉深件材料的抗拉强度；

K_1,K_2——修正系数，其值见表 2-37。

表 2-37 修正系数 K_1 及 K_2 之值

m_1	0.55	0.57	0.60	0.62	0.65	0.67	0.70	0.72	0.75	0.77	0.80	—	—	—
K_1	1.0	0.93	0.86	0.79	0.72	0.66	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40	—	—	—
$m_2 m_3 \cdots m_n$	—	—	—	—	—	—	0.70	0.72	0.75	0.77	0.80	0.85	0.90	0.95
K_2	—	—	—	—	—	—	1.0	0.95	0.90	0.85	0.80	0.70	0.60	0.50

2）拉深功的计算

拉深功按下式计算：

$$W = \frac{CF_{max}h}{1\ 000} \tag{2-64}$$

式中：W —— 拉深功，J；

F_{max}—— 最大拉深力（包含压边力），N；

h——凸模工作行程，mm；

C——系数，与拉深力曲线有关，C 值可取 0.6～0.8。

压力机的电动机功率可按下式计算：

$$P = \frac{KWn}{60 \times 1\ 000 \times \eta_1 \eta_2} \tag{2-65}$$

式中：P—— 电动机功率，kw；

K—— 不均衡系数，$K=1.2\sim1.4$；

η_1—— 压力机效率，$\eta_1=0.6\sim0.8$；

η_2—— 电动机效率，$\eta_2=0.9\sim0.95$；

n—— 压力机每分钟行程数。

若所选压力机的电动机功率小于计算值，则应另选更大的压力机。

（6）压力机公称压力的确定

对于单动压力机，其公称压力应大于工艺总压力。工艺总压力为

$$F_Z = F + F_Y$$

式中：F ——拉深力；

F_Y——压边力。

由于压力机的公称压力是指在接近下死点时的压力机压力，当拉深工作行程较大，尤其落料拉深复合时，不能简单地应用公式将压边力与拉深力又叠加进行计算并选择压力机。生产中可以按下面的经验公式来确定压力机的公称压力：

浅拉深　　$F_Z \leqslant (0.7\sim0.8)F_g$　　(2-66)

深拉深　　$F_Z \leqslant (0.5\sim0.6)F_g$　　(2-67)

式中：F_g—— 压力机公称压力。

（7）压边力与压边装置

1）压边力的计算

在生产中，防止圆筒形件拉深产生起皱的方法，通常是在拉深模上设置压边装置，并采用适当的压边力。但变形程度较小，坯料相对厚度较大，则不会起皱，就可不必采用压边圈。是否采用压边圈可按表 2-38 确定。

表 2-38　采用或不采用压边圈的条件

拉深方法	第一次拉深		以后各次拉深	
	$(t/D)\times100$	m_1	$(t/d_{n-1})\times100$	m_n
用压边圈	<1.5	<0.6	<1	<0.8
可用可不用	1.5～2.0	0.6	1～1.5	0.8
不用压边圈	>2.0	>0.6	>1.5	>0.8

采用压边圈，对板料施加压边力，保证拉深过程顺利地进行，然而增加压边圈会使模具结构复杂。因此，压边力的取值应适当，F_Y 值太小，则防皱效果不好；F_Y 值太大，则会增大传力区危险端面上的拉应力，从而引起严重变薄甚至拉裂。因此，应在保证变形区不起皱的前提下，尽量选用小的压边力，且压边力的大小应允许在一定范围内调节。

在模具设计时，压边力可按下式计算：

任何形状的拉深件

$$F_Y = Ap \tag{2-68}$$

圆筒形件首次拉深

$$F_Y = \frac{\pi}{4}[D^2 - (d_1 + 2r_{A1})^2]p \tag{2-69}$$

圆筒形件以后各次拉深

$$F_Y = \frac{\pi}{4}[d_{i-1}^2 - (d_i + 2r_{Ai})^2]p \quad (i = 2,3,\cdots,n) \tag{2-70}$$

式中：A——压边圈下坯料的投影面积；

p——单位面积压边力，p 值可查表 2-39；

D——坯料直径；

$d_1,\cdots,d_i$——各次拉深工序件直径；

$r_{A1},\cdots,r_{Ai}$—— 各次拉深凹模的圆角半径。

表 2-39　单位面积压边力

材料名称		p/MPa	材料名称	p/MPa
铝		0.8～1.2	镀锡钢板	2.5～3.0
纯铜、硬铝(以退火的)		1.2～1.8	耐热钢(软化状态)	2.8～3.5
黄铜		1.5～2.0		
软钢	t<0.5 mm	2.5～3.0	高合金钢、高锰钢、不锈钢	3.0～4.5
	t>0.5 mm	2.0～2.5		

2）压边装置

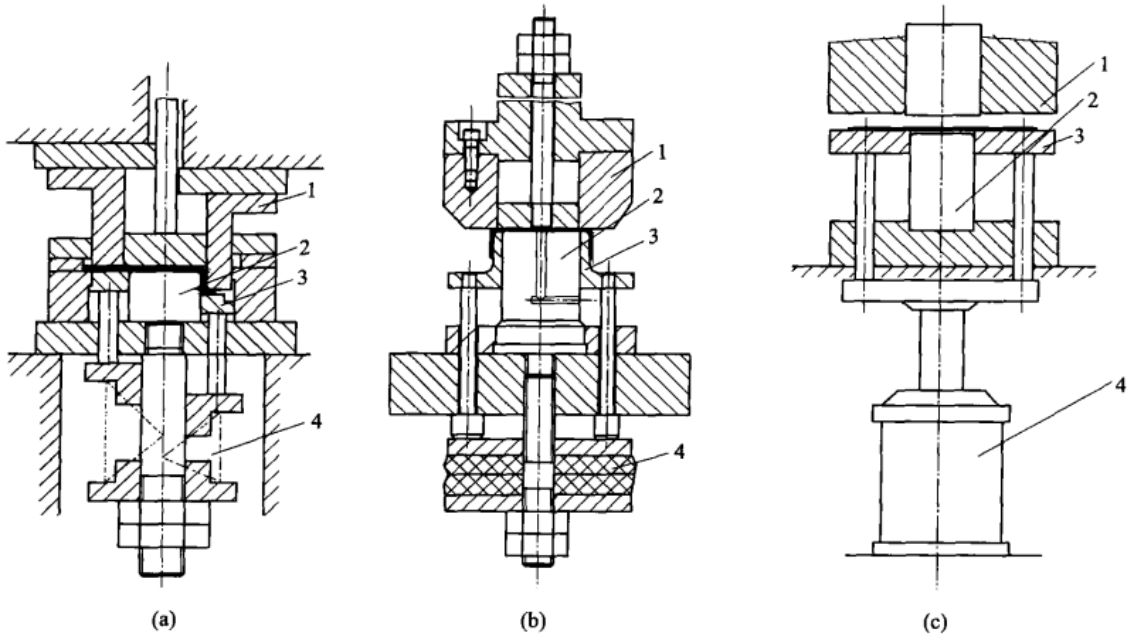
① 弹性压边装置

图 2-117 为单动压力机用弹性压边装置。这类压边装置可分 3 种：

弹簧式压边装置(图 2-117(a))；

橡胶式压边装置(图 2-117(b))；

气垫式压边装置，即以压缩空气作用或空气液压联动作用防止起皱(图 2-117(c))。



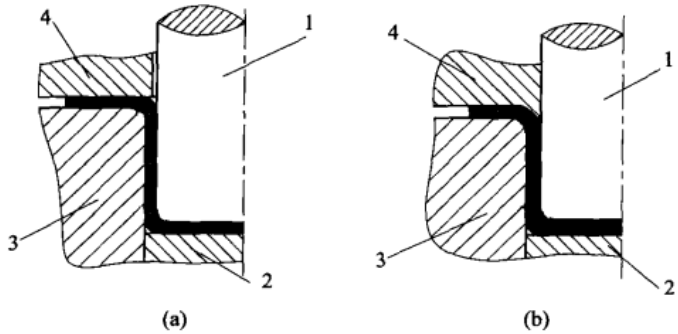
1—凹模；2—凸模；3—压边圈；4—弹性元件(弹顶器)

图 2-117　弹性压边装置

弹簧和橡胶压边装置的压边力是随着工作行程(拉深深度)的增加而增大的，尤其橡胶式压边装置更突出，这样的压边力变化特性会使拉深过程的拉深力不断增大，从而增大拉裂的危险性。因此，弹簧和橡胶压边装置通常只用于浅拉深。但是，这两种压边装置结构简单，在中小型压力机上使用较为方便。只要正确地选择弹簧的规格和橡胶的牌号及尺寸，就能减少它的不利方面。弹簧应选总压缩量大，压力随压缩量增加而缓慢增大的规格。橡胶应选用软橡胶，并保证相对压缩量不过大，建议橡胶总厚度不小于拉深工作行程的 5 倍。

气垫式压边装置压边效果较好，压边力基本上不随工作行程而变化(压边力的变化可控制在 10%～15%内)。但气垫装置结构复杂。

压边圈是压边装置的关键零件，一般的拉深模采用平面压边圈(图 2-118(a))。当坯料相对厚度较小，拉深件凸缘小且圆角半径较小时，则采用带弧形的压边圈(图 2-118(b))。



1—凸模；2—顶板；3—凹模；4—压边圈

图 2-118　平面压边圈与弧形压边圈

为保持整个拉深过程中压边力均衡和防止将坯料夹得过紧，特别是拉深板料较薄且凸缘较宽的拉深件时，可采用带限位装置的压边圈，如图 2－119 所示。其压边圈和凹模之间始终保持一定的距离 S。对于有凸缘零件的拉深，$S=t+(0.05\sim0.1)$ mm；铝合金的拉深，$S=1.1t$；钢板的拉深，$S=1.2t$（t 为板料厚度）。

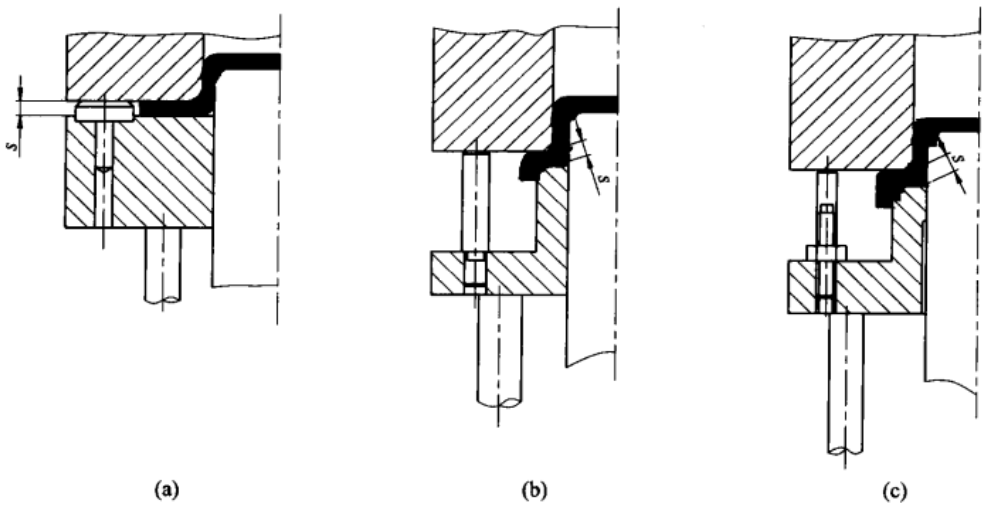
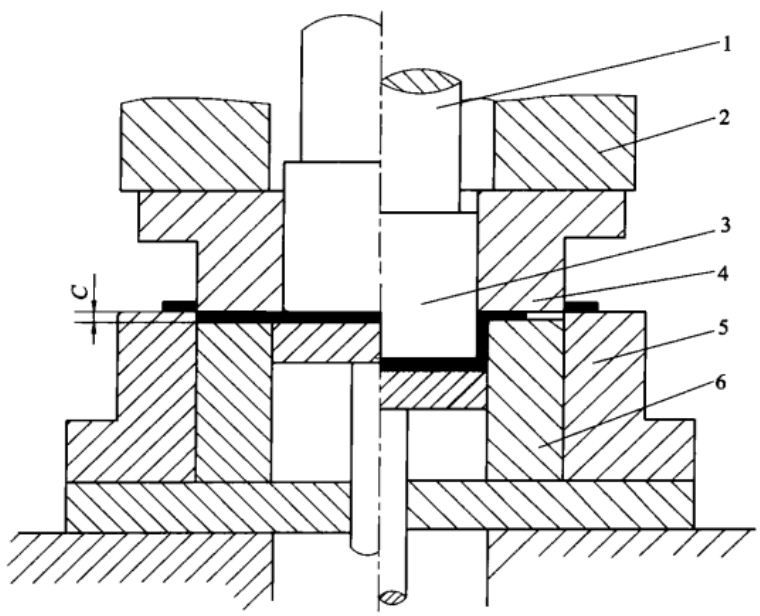


图 2－119　有限位装置的压边圈

对于凸缘小或球形件和抛物线形件的拉深，为了防皱，采用带拉深筋的压边圈。

② 刚性压边装置

刚性压边装置的特点是，压边力不随拉深的工作行程而变化，压边效果较好，模具结构简单。这种结构用于双动压力机，凸模装在压力机的内滑块上，压边装置装载外滑块上，如图 2－120 所示。



1—凸模固定杆；2—外滑块；3—拉深凸模；4—落料凸模兼压边圈；5—落料凹模；6—拉深凹模

图 2－120　双动压力机用拉深模刚性压边装置

(8) 凸、凹模工作部分尺寸设计

拉深模工作部分的结构尺寸指的是凹模圆角半径 r_A、凸模圆角半径 r_T、凸凹模间隙 Z、凸模直径 D_T、凹模直径 D_A等，其中凸、凹模的圆角半径对拉深工作影响很大。

1) 凸、凹模的圆角半径

① 凹模圆角半径的确定

毛坯经凹模圆角进入凹模时，受弯曲和摩擦作用，凹模圆角半径 r_A 过小，因径向拉力较大，易使拉深件表面划伤或产生断裂；r_A 过大，由于悬空面积增大，使压料面积减小，易起内皱，因此合理选择凹模圆角半径是极为重要的。

首次(包括只有一次)拉深凹模圆角半径可按下式计算：

$$r_{A1} = 0.8\sqrt{(D-d)t} \tag{2-71}$$

式中：r_{A1}—— 凹模圆角半径；

D —— 坯料直径；

d—— 凹模内径；

t—— 板料厚度。

首次拉深凹模圆角半径的大小也可以参考表 2-40 的值选取。

表 2-40　首次拉深凹模圆角半径

拉深方式	毛坯的相对厚度$(t/D)\times100$		
	≤2.0～1.0	<1.0～0.3	<0.3～0.1
无凸缘	(4～6)t	(6～8)t	(8～12)t
有凸缘	(6～12)t	(10～15)t	(15～20)t

注：材料性能好且润滑好时取小值

以后各次拉深凹模圆角半径应逐渐减小，一般按下式确定：

$$r_{Ai} = (0.6 \sim 0.8)r_{A(i-1)} \qquad (i = 2,3,\cdots,n) \tag{2-72}$$

② 凸模圆角半径的确定

凸模圆角半径 r_T 对拉深工序的影响没有凹模圆角半径大，但其值也必须合适，r_T 太小，拉深初期坯料处弯曲变形大，危险断面受拉力增大，工件易产生局部变薄或拉裂，且局部变薄和弯曲变形的痕迹在后续拉深时将会遗留在成品或零件上，影响零件的质量。但 r_T 过大，会使凸模圆角处材料在初期拉深时凸模与毛坯接触面小，易产生底部变薄和内皱。

首次拉深凸模圆角半径可按照下式确定：

$$r_{T1} = (0.7 \sim 1.0)r_{A1} \tag{2-73}$$

中间各拉深工序凸模圆角半径可按下式确定：

$$r_{T(n-1)} = \frac{d_{n-1} - d_n - 2t}{2} \qquad (i = 3,4,\cdots,n) \tag{2-74}$$

式中：d_{n-1}，d_n—— 各工序件的外径，mm。

最后一次拉深凸模圆角半径 $r_{Tn} \geqslant t$，即凸模圆角半径大于或等于工件圆角半径 r。但工件圆角半径如果小于拉深工艺性要求时，则凸模圆角半径按工艺性的要求确定($r_{Tn} \geqslant t$)，然后通过整形工序得到工件要求的圆角半径。

2）拉深模间隙

拉深模间隙是指单边间隙，即凹模和凸模直径之差的一半。拉深模的凸、凹模之间的间隙对拉伸力、拉深件质量、模具寿命等都有影响。间隙小，与模具表面间的摩擦磨损严重，使拉深力增加，工件变薄严重，甚至拉裂，模具寿命降低。但间隙小，冲件回弹小，精度高。间隙过大，坯料容易起皱，工件锥度大、回弹大、精度差。但对坯料的校直和挤压作用减小，拉深降低，模具的使用寿命提高。因此，应根据板料厚度及公差、拉深过程板料的增厚情况、拉深次数、拉深件的形状及精度要求等，正确确定拉深模间隙。

① 无压边圈的拉深模，其单边间隙为

$$Z = (1 \sim 1.1)\, t_{max} \tag{2-75}$$

式中：Z ——拉深模单边间隙，mm；

t_{max}——板料的最大厚度，mm。

对于系数 1～1.1，小值用于末次拉深或精密零件的拉深；大值用于首次和中间各次拉深或精度要求不高零件的拉深。

② 有压边圈的拉深模，其单边间隙可按表 2－41 确定。

表 2－41　有压边圈拉深时单边间隙值　　mm

总拉深次数	拉深工序	单边间隙 Z	总拉深次数	拉深工序	单边间隙 Z
1	一次拉深	(1～1.1)t	4	第一、二次拉深	1.2 t
2	第一次拉深	1.1t		第三次拉深	1.1t
	第二次拉深	(1～1.05)t		第四次拉深	(1～1.05)t
3	第一次拉深	1.2t	5	第一～三次拉深	1.2t
	第二次拉深	1.1t		第四次拉深	1.1 t
	第三次拉深	(1～1.05)t		第五次拉深	(1～1.05)t

注：1 t 为材料厚度，取材料允许偏差的中间值，mm；

2 当拉深精密工件时，对最末一次拉深间隙取 $Z=t$。

对于精度要求高的零件，为了减少拉深后的回弹，常采用负间隙拉深模。其单边间隙值为：

$$Z = (0.9 \sim 0.95)t$$

3）凸、凹模工作部分尺寸及公差

工件的尺寸精度由末次拉深的凸、凹模的尺寸及公差决定，因此除拉深模需要考虑尺寸公差外，首次及中间各次的模具尺寸公差和拉深半成品的尺寸公差没有必要作严格限制，这时模具的尺寸只要取等于毛坯的过渡尺寸即可。

凹模尺寸：

$$D_A = D^{+\delta_A}_{0} \tag{2-76}$$

凸模尺寸：

$$D_T = (D_X - 2Z)^{0}_{-\delta_T} \tag{2-77}$$

对于最后一道工序的拉深模，其凸、凹模尺寸及公差应按工件的要求来确定。

当工件尺寸标注在外形时（图 2－121(a)），则

凹模尺寸：

$$D_A = (D_{max} - 0.75\Delta)^{+\delta_A}_{0} \tag{2-78}$$

凸模尺寸：

$$D_T = (D_{max} - 0.75\Delta - 2Z)_{-\delta_T}^{0} \tag{2-79}$$

当工件尺寸标注在内形时(图 2-121(b))，则

凹模尺寸：

$$d_T = (d_{min} + 0.4\Delta + 2Z)_{-\delta_T}^{0} \tag{2-80}$$

凸模尺寸：

$$d_A = (d_{min} + 0.4\Delta +)^{+\delta_A}_{0} \tag{2-81}$$

式中：D_A，d_A——凹模的径向尺寸；

D_T，d_T——凸模的径向尺寸；

D_{max}，d_{min}——拉深件外径的最大极限尺寸和内径的最大极限尺寸；

Δ——工件的公差；

Z——拉深模单边间隙；

δ_A，δ_T——凹、凸模制造公差，见表 2-42。

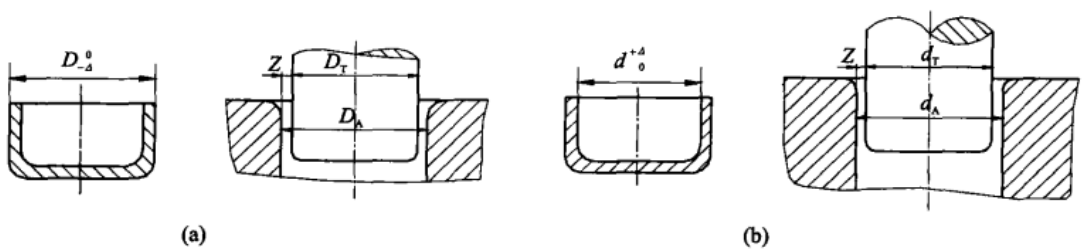


图 2-121　工件尺寸与凸、凹模尺寸

表 2-42　凸模制造公差 δ_T 与凹模制造公差 δ_A　　mm

材料厚度 t	拉深件直径 d					
	≤20		20～100		>100	
	δ_A	δ_T	δ_A	δ_T	δ_A	δ_T
≤0.5	0.02	0.01	0.03	0.02	—	—
>0.5～1.5	0.04	0.02	0.05	0.03	0.08	0.05
>1.5	0.06	0.04	0.08	0.05	0.10	0.06

注：凸模的制造公差在必要时可提高至 IT6～IT8 级(GB 1800—79)。

若工件公差在 IT13 级以下，则制造公差可以采用 IT10 级。

凸、凹模的制造公差 δ_T 和 δ_A 可根据工件的公差来选定，工件公差为 IT13 级以上时，δ_A 和 δ_T 可按 IT6～IT8 级取，工件公差在 IT14 级以下时，则 δ_A 和 δ_T 可按 IT10 级取。

4) 凸、凹模的结构

拉深凸、凹模的结构形式取决于工件的形状、尺寸以及拉深方法、拉深次数等工艺要求。而不同的结构形式对拉深的变形情况、变形程度的大小及产品质量均有不同的影响。常见的凸、凹模结构形式如下：

① 不用压边圈的拉深模

首次拉深的凸、凹模结构形式如图 2－122 所示。当毛坯的相对厚度较大，不易起皱、不需压边时，应采用锥形凹模、渐开线凹模或等切面曲线形状凹模(图 2－122(b)(c)(d))。这种模具在开始拉深时，就使坯料呈曲面形状，因而较平端圆弧形拉深凹模(图 2－122(a))具有更大的抗失稳能力，可以有效地克服起皱。此外，凹模锥面减少了凹模圆角半径造成的摩擦阻力和弯曲变形，从而降低了拉深力，使拉深系数可以取得更小。

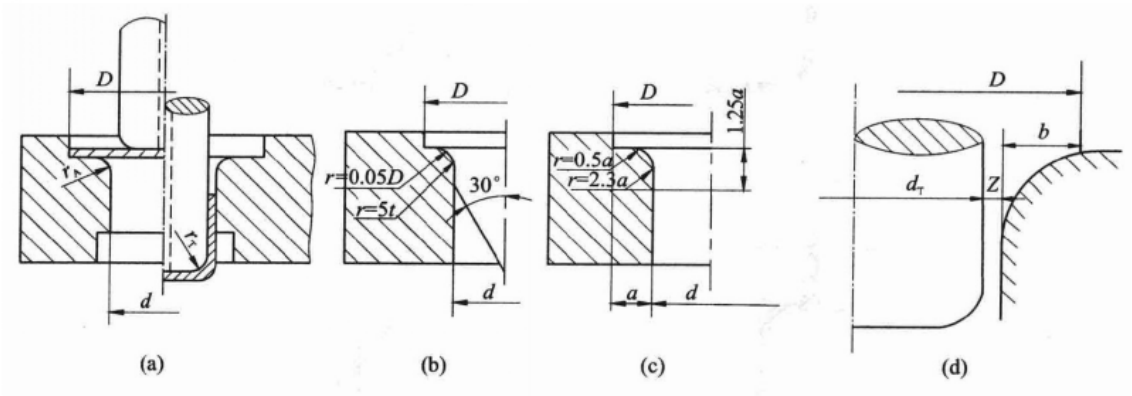


图 2－122　无压边圈一次拉深成型的凹模结构

如图 2－123 所示，深拉深(两次以上拉深)凸、凹模结构，其中尺寸 $h=5\sim10$ mm，$b=2\sim5$ mm。

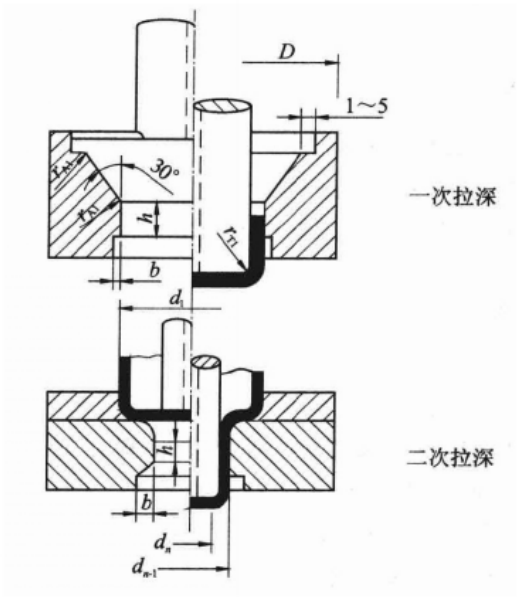


图 2－123　不带压边多次拉深模及两次拉深尺寸配合

② 有压边圈的拉深模

图 2－124 为有压边圈多次拉深的凸、凹模结构。其中图 2－124(a)用于直径小于 100 mm

时首次拉深和以后各次拉深的拉深件，图 2－124(b)用于直径大于 100 mm 的拉深件。这种结构不仅具有改善金属的流动，减少变形抗力，材料不易变薄等一般锥形凹模的特点，而且还可以减轻坯料的反复弯曲变形，以提高冲件侧壁质量，使坯料在下次工序中容易定位。

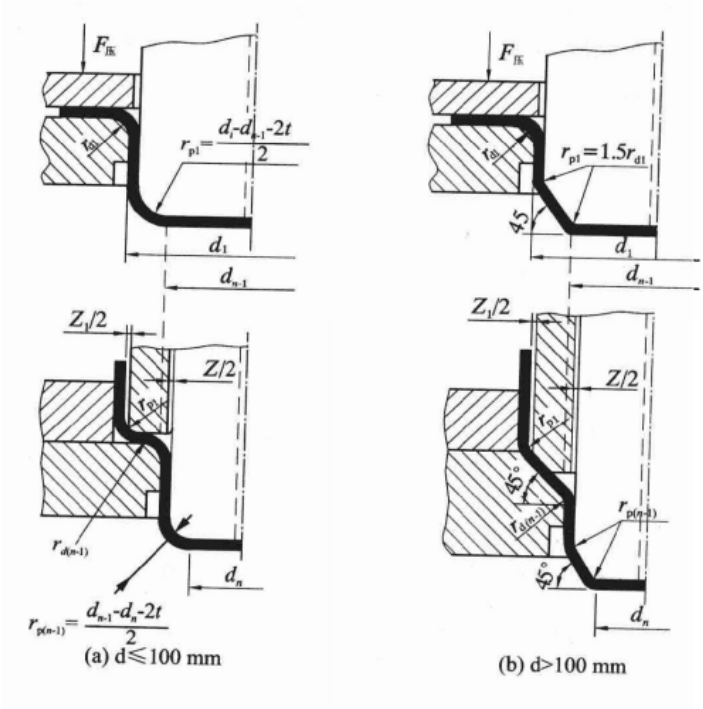


图 2－124　带压边多次拉深模及其尺寸配合

2.4.2　拉深模典型结构

拉深模结构相对较简单。根据拉深模使用的压力机类型不同，拉深模可分为单动压力机用拉深模和双动压力机用拉深模；根据拉深顺序可分为首次拉深模和以后各次拉深模；根据工序组合可分为单工序拉深模、复合工序拉深模和连续工序拉深模；根据压边情况可分为有压边装置和无压边装置拉深模。

1. 单动压力机用拉深模

(1) 首次拉深模

图 2－125(a)为无压边装置的首次拉深模。拉深件直接从凹模底下落下，为了从凸模上卸下冲件，在凹模下装有卸件器，当拉深工作行程结束，凸模回程时，卸件器下平面作用于拉深件口部，把拉深件卸下。为了便于卸件，凸模上钻有直径为 3 mm 以上的通气孔。如果板料较厚，拉深件深度较小，拉深后有一定回弹量。回弹引起拉深件口部张大，当凸模回程时，凹模下平面挡住拉深件口部而自然卸下拉深件，此时可以不配备卸件器。这种拉深模具结构简单，适用于拉深板料厚度较大而深度不大的拉深件。

图 2－125(b)为有压边装置的正装式首次拉深模。拉深模的弹性压边装置在上模，由于弹性元件高度受到模具闭合高度的限制，因而这种结构形式的拉深模适用于拉深深度不大的拉深件。其工作顺序是：将拉深坯料放入定位板内，弹性压边圈随凸模下行，并先于凸模与坯

料接触进行压料，凸模继续下行，进行拉深至拉深结束。此时拉深件位于凹模下方，且由于回弹拉深件口部张开，被凹模下表面挡住而自然卸料。

图 2－125(c)为倒装式的具有锥形压边圈的拉深模，压边装置的弹性元件在下模底下工作行程可以较大，可用于拉深深度较大的工件，应用广泛。其凸模及锥形压边圈位于下方，而凹模则位于上方，其工作顺序是：凹模下行，并与压边圈形成配合对坯料进行压料，随后与凸模配合进行拉深成型。凹模回程的同时，拉深件在压边圈作用下与凸模分离。

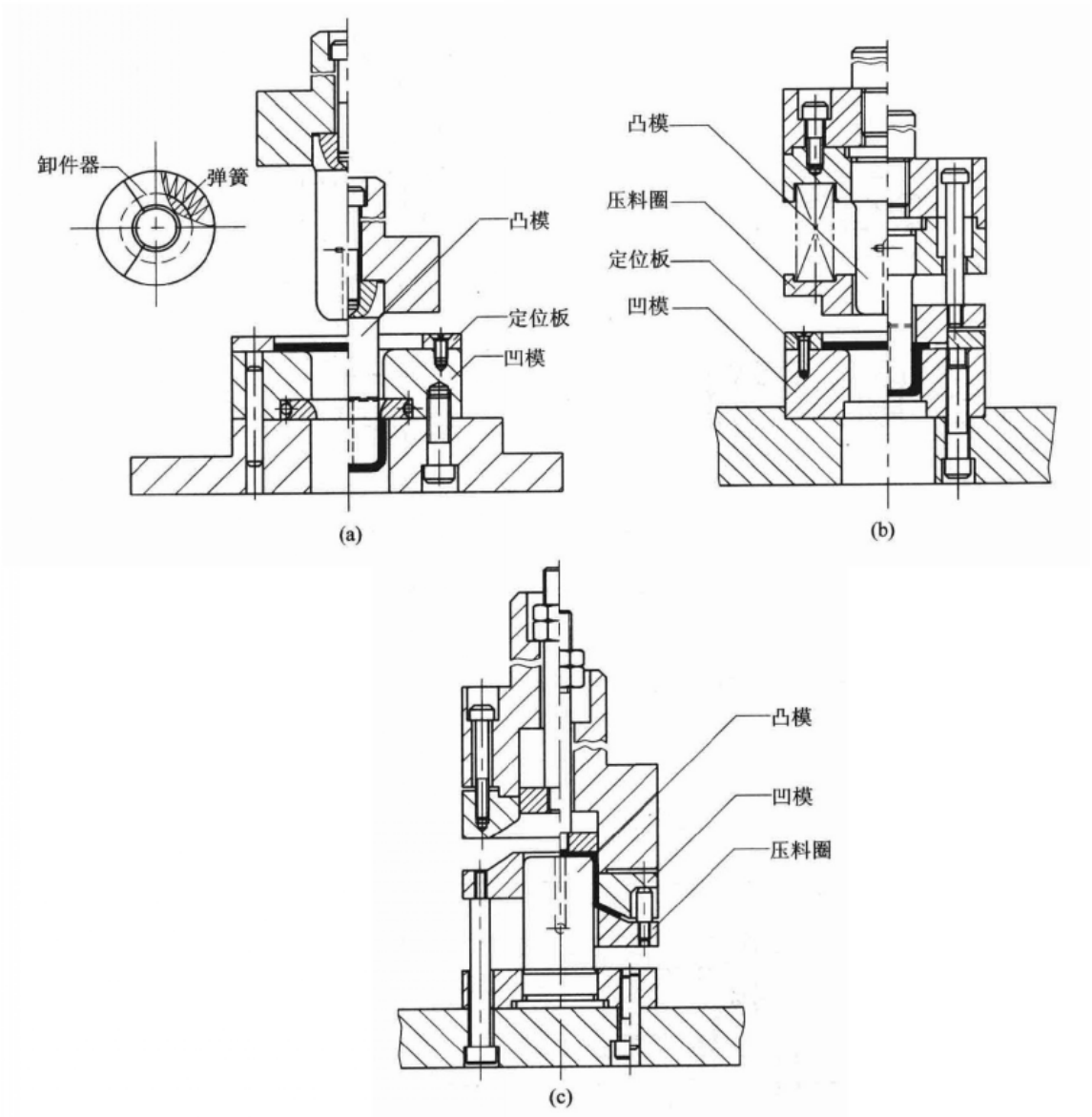


图 2－125　首次拉深模

(2) 以后各次拉深模

图 2-126(a)为无压边装置的以后各次拉深模。该模具的凸模和凹模及定位圈可以更换,以满足一定尺寸范围的不同拉深件的拉深成型。

图 2-126(b)为有压边装置的以后各次拉深模。其压边装置带有 3 个限位柱。压边圈又是工序件的内形定位圈。限位柱方面控制拉深件高度尺寸,另一方面对模具起保护作用。

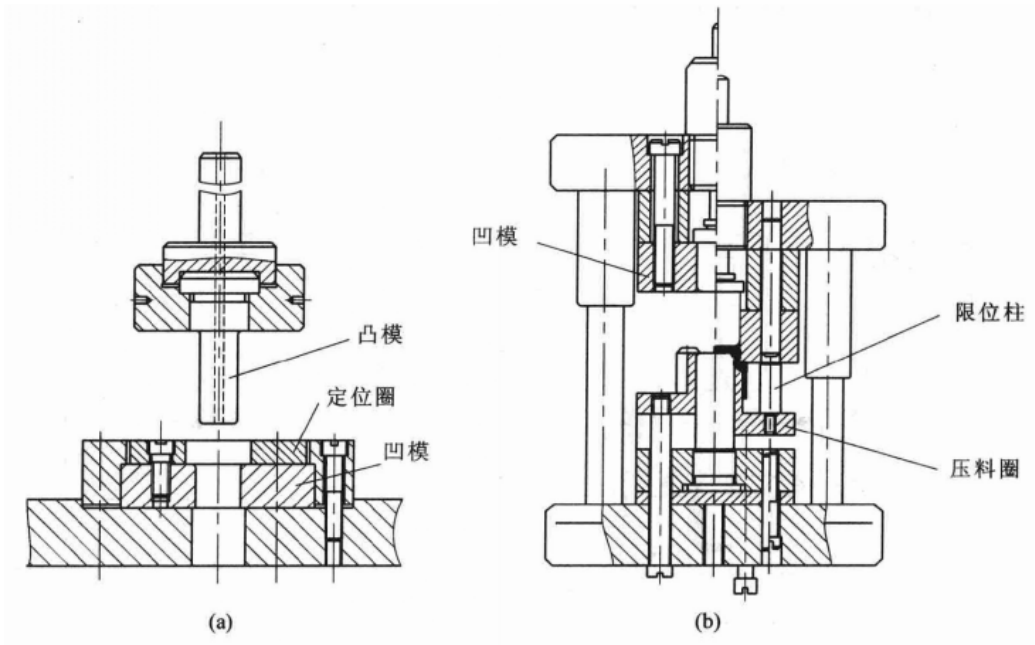
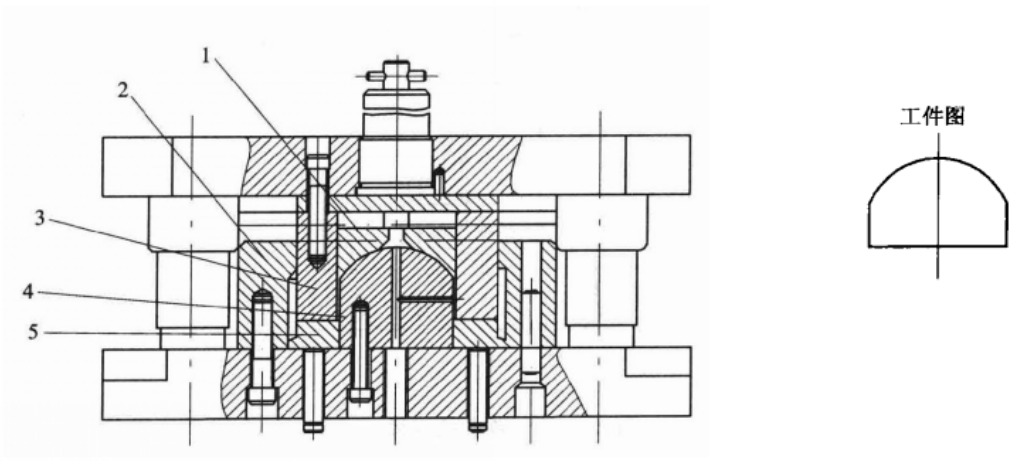


图 2-126 以后各次拉深模

(3) 落料拉深复合模

图 2-127 为落料拉深复合模。这种模具一般设计先落料后拉深,为此,拉深凸模应低于落料凹模一个板料厚度,压边圈既起压料作用又起顶件作用。由于有顶件作用,上模回程时,



1—推件块;2—落料凹模;3—落料凸模兼拉深凹模;4—拉深凸模;5—压边圈兼顶板

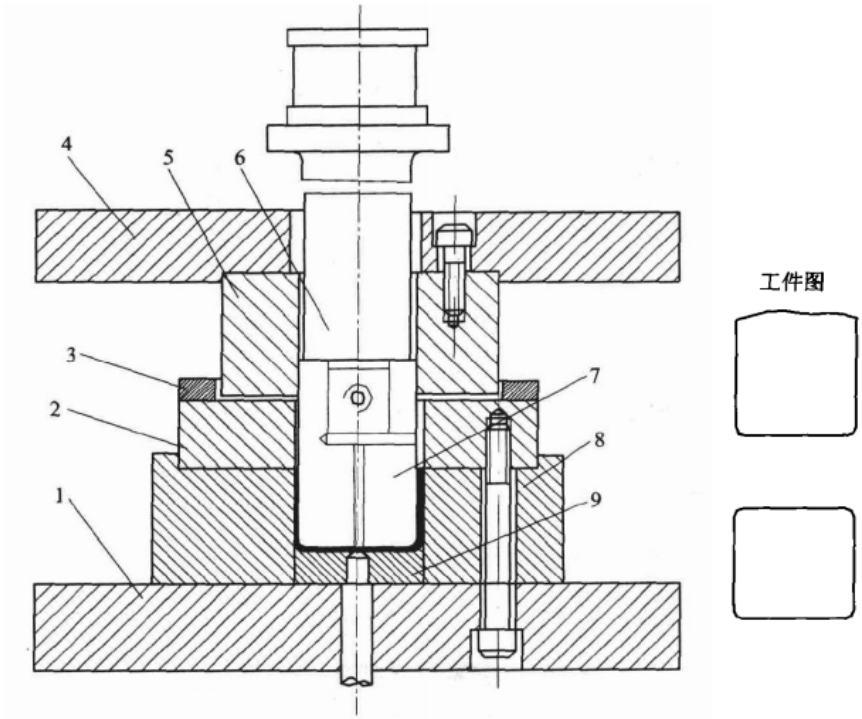
图 2-127 落料拉深复合模

拉深件可能留在拉深凹模内，所以一般设置推件装置。将条料送进，并随着上模下行，落料凹模 2 与落料凸模兼拉深凹模简称凸凹模配合，形成落料模，对条料进行落料。由于凸模低落料凹模一个板料厚度，故凸凹模 3 先与压边圈兼顶板配合对落料件进行压边，再与拉深凸模 4 配合对落料件进行拉深。拉深结束后，在压边圈兼顶板 5 的作用下，拉深件与凸模分离，但有可能留在凸凹模 3 内，因此有必要设置推件装置，以确保拉深件与凸凹模 3 顺利分离。

2. 双动压力机用拉深模

(1) 双动压力机用首次拉深模

图 2－128 为双动压力机用首次拉深模，下模由凹模、定位板、凹模固定板和模座组成。上模的压边圈和上模座固定在外滑块上，凸模通过凸模固定杆固定在内滑块上。其工作顺序是：将拉深坯料(工序件)放入定位板内，内外滑块同时下行，由于压边圈 5 高于凸模一个板厚，故压边圈先于凸模与坯料接触并进行压边。此时外滑块不再下行，而内滑块带动凸模继续下行，开始进行拉深，拉深结束后，凸模回程后，拉深件在顶板的作用下与凹模分离，并在压边圈的作用下与凸模分离。



1—下模座；2—凹模；3—定位板；4—上模座；5—压边圈；6—凸模固定板；7—凸模；8—凹模固定板；9—顶板

图 2－128　双动压力机用首次拉深模

(2) 双动压力机用以后各次拉深模

图 2－129 为双动压力机用以后各次拉深模。该模具与首次拉深模不同之处是，所用坯料是拉深后的工序件，定位板较厚，拉深后的工件利用一对卸件板从凸模上卸下来。该模具适用于拉深没有凸缘的拉深件。

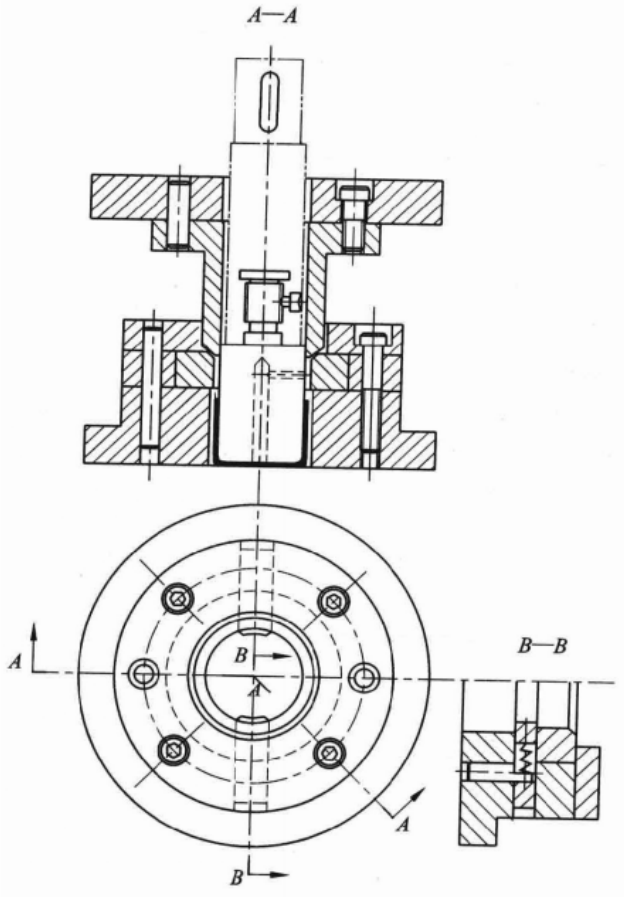


图 2－129　双动压力机用以后各次拉深模

2.4.3　拉深模设计实例

根据给定的条件确定拉深工艺并设计拉深模。

零件：有凸缘圆筒形件(图 2－130)

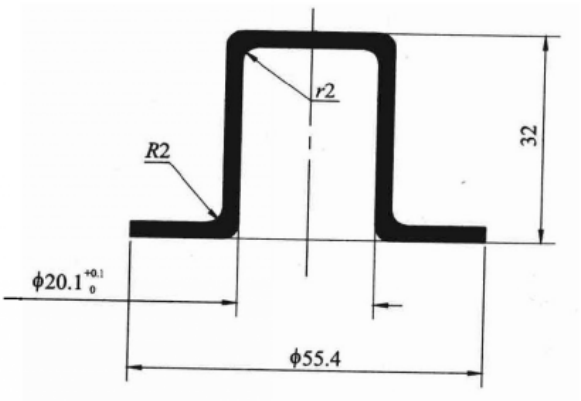


图 2－130　凸缘圆筒形零件

材　　料：08 钢

厚　　度：$t=1$ mm

产　　量：大批量生产

设计步骤：

1. 零件工艺性分析

该零件为有凸缘圆筒形件，要求内形尺寸，料厚 $t=1$ mm，没有厚度不变的要求；零件的形状简单、对称，底部圆角半径 $r=2$ mm$>t$，凸缘处的圆角半径 $R=2$ mm$=2t$，满足拉深工艺对形状和圆角半径的要求。尺寸 $\phi 20.1^{+0.1}_{0}$ mm 为 IT12 级，其余尺寸为自由公差，满足拉深工艺对精度等级的要求，零件所用 08 钢的拉深性能较好，易于拉深成型。综上所述，该零件的拉深工艺性较好，可用拉深工序加工。

2. 确定工艺方案

为了确定工件的成型工艺方案，先应计算拉深次数及有关工序尺寸。板料厚度 $t=1$ mm，故按中线尺寸计算。

(1) 计算坯料直径 D

如图 2－130 所示，$d_t=55.4$ mm，$d=20.1+1=21.1$ mm。工件相对直径 $d_t/d=55.4/21.1=2.63$。查表 2－30 得修边余量 $\Delta R=2.2$ mm，故实际凸缘直径：

$$d_t=(55.4+2\times 2.2)\ \text{mm}=59.8\ \text{mm}$$

根据有凸缘圆筒形件的坯料直径计算公式(2－54)，又 $R=r=2+0.5=2.5$ mm，$h=32-1=31$，故：

$$D=\sqrt{d_t^2+4dh-3.44rd}=\sqrt{59.8^2+4\times 21.1\times 31-3.44\times 2.5\times 21.2}\ \text{mm}\approx 78\ \text{mm}$$

(2) 判断可否一次拉深成型

工件总拉深系数：　$m_{总}=d/D=21.1/78=0.27$

工件总的相对高度：　$h/d=31/21.1=1.47$

由 $d_t/d=59.8/21.1=2.8$，$t/D\times 100=(1/78)\times 100=1.28$，查表 2－35 得，有凸缘圆筒形件第 1 次拉深的极限拉深系数 $m_1=0.35$，由表 2－34 查得有凸缘圆筒形件第 1 次拉深的最大相对高度 $h_1/d_1=0.20$，$m_{总}<m_1$，$h/d<h_1/d_1$，因此工件不能一次拉深成型。

(3) 确定首次拉深工序件尺寸

初定首次 $d_t/d=1.3$，查表 2－35 得首次拉深的极限拉深系数为 0.51，取 $m_1=0.52$，则：

$$d_1=m_1D=0.52\times 78\ \text{mm}=40.5\ \text{mm}$$

查表 2－40，取：$r_1=R_1=5.5$ mm

为了使以后各次拉深时凸缘不再变形，取首次拉入凹模的材料面积比最后一次拉入凹模的材料面积(即工件中除去凸缘平面以外的表面积)增加 5%，故坯料直径修正为：

$$D=\sqrt{3\ 200\times 1.05+2\ 895}\ \text{mm}\approx 79\ \text{mm}$$

首次拉深高度为：

$$h_1=\frac{0.25}{d_1}(D^2-d_1^2)+0.43(r_1+R_1)+\frac{0.14}{d_1}(r_1^2-R_1^2)$$

$$=\left[\frac{0.25}{40.5}\times(79^2-59.8^2)+0.43\times(5.5+5.5)\right]\text{mm}=21.2\ \text{mm}$$

验算所取 m_1 是否合理：根据 $t/D=1.28\%$，$d_1/d=59.8/40.5=1.48$，查表 2－34 可知首次拉深的极限相对高度为 0.58。因 $h_1/d_1=21.2/40.5=0.52<0.58$，故所取 m_1 是合理的。

(4) 计算以后各次拉深的工序件尺寸

查表 2－36 得：

$m_2=0.75$，$m_3=0.78$，$m_4=0.80$，则

$$d_2 = 0.75 \times 40.5 \text{ mm} = 30.4 \text{ mm}$$

$$d_3 = 0.78 \times 30.4 \text{ mm} = 23.7 \text{ mm}$$

$$d_4 = 0.80 \times 23.7 \text{ mm} = 19.0 \text{ mm}$$

因 $d_4=19$ mm<21.1 mm(工件直径)，不需再推算下去，故共需 4 次拉深。

调整以后各次拉深系数，使其均大于表 2－36 查得的相应极限拉深系数，调整后，实际取：$m_2=0.77$，$m_3=0.80$，$m_4=0.84$

故以后各次拉深工序件的直径为：

$$d_2 = 0.77 \times 40.5 \text{ mm} = 31.2 \text{ mm}$$

$$d_3 = 0.80 \times 31.2 \text{ mm} = 25.0 \text{ mm}$$

$$d_4 = 0.844 \times 25 \text{ mm} = 21.1 \text{ mm}$$

以后各次拉深工序件的圆角半径取：

$$r_2 = R_2 = 4.5 \text{ mm}, \quad r_3 = R_3 = 3.5 \text{ mm}, \quad r_4 = R_4 = 2.5 \text{ mm}$$

以后各次拉深工序件的高度为：

$$h_2 = 24.8 \text{ mm}, \quad h_3 = 28.7 \text{ mm}$$

最后一次拉深后达到工件的高度：

$$h_4 = 32 \text{ mm}$$

拉深工序至此结束

图 2－131 为有凸缘圆筒形件的各次拉深工序尺寸 。

根据上述计算结果，此工件需要落料(制成 79 mm 的坯料)、4 次拉深和切边(达到工件要求的凸缘直径 55.4 mm)共 6 道冲压工序。考虑该工件的首次拉深高度较小，且坯料直径(ϕ79)与首次拉深后的圆筒体直径(ϕ39.5)的差值较大，为了提高生产率，可将坯料的落料与首次拉深复合。因此，该工件的冲压工艺方案为：落料与首次拉深复合模→第二次拉深模→第三次拉深模→第四次拉深模→切边模。

3. 拉深力与压边力计算

这里仅计算出最后一次拉深时的拉深力和压边力。

(1) 拉深力

拉深力根据式(2－61)计算，查得 08 钢的强度极限 $\sigma_b=400$ MPa，由 $m_4=0.844$ 查表 2－37得 $K_2=0.70$，则 ：

$$F = K_2 \pi d_4 t \sigma_b = 0.70 \times 3.14 \times 20.1 \times 400 \text{ N} = 17\,672 \text{ N}$$

(2) 压边力

压边力根据式(2－69)计算，查表 2－39 取 $p=2.5$ MPa，则：

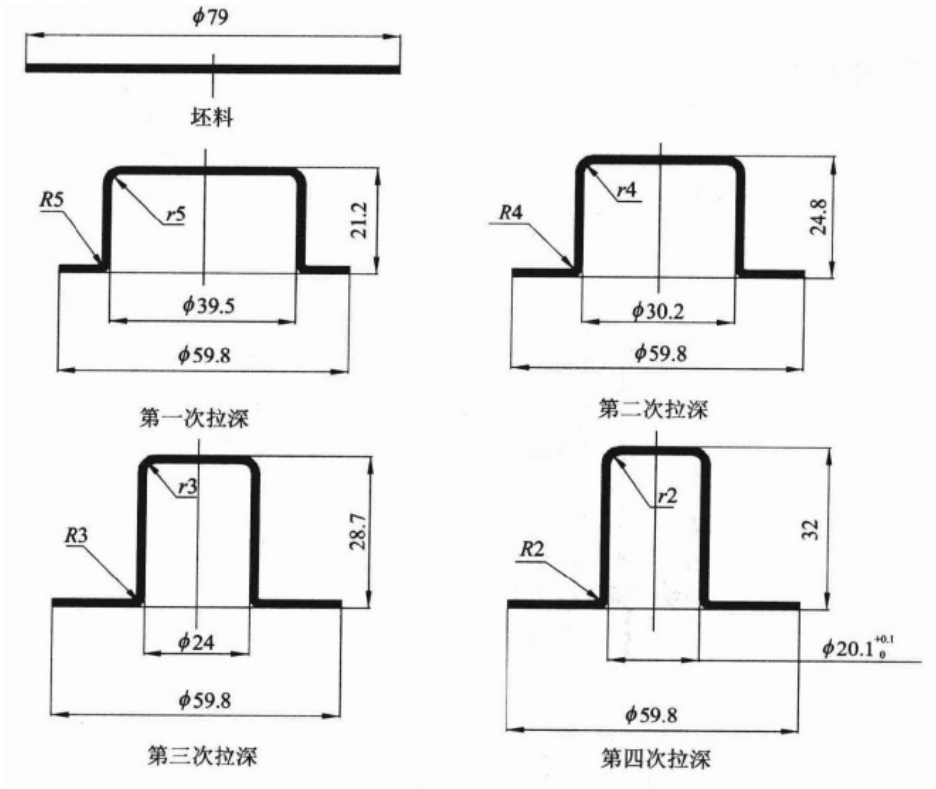


图 2－131　有凸缘圆筒形件的各次拉深工序尺寸

$$F_Y = \pi[d_3^2 - (d_4 + 2r_{d4})^2]p/4$$
$$= 3.14 \times [26^2 - (22.1 + 2)^2] \times 2.5/4\ \text{N} = 279\ \text{N}$$

(3) 压力机公称压力

根据式(2－67)和 $F_\Sigma = F + F_Y$，取 $F_g \geqslant 1.8F_\Sigma$，则：

$$F_g \geqslant 1.8 \times (17\ 672 + 279)\ \text{N} = 32.3\ \text{kN}$$

4. 模具工作部分尺寸的计算(最后一次拉深)

(1) 凸、凹模间隙

由表 2－41 查得凸、凹模的单边间隙为 $Z = (1 \sim 1.05)t$，取 $Z = 1.05t = 1.05 \times 1 = 1.05$ mm。

(2) 凸、凹模圆角半径

因是最后一次拉深，故凸、凹模圆角半径与拉深件相应圆角半径一致，则凸模圆角半径 $r_T = 2$ mm，凹模圆角半径 $r_A = 2$ mm。

(3) 凸、凹模工作尺寸及公差

由于工件要求内形尺寸，故凸、凹模工作尺寸及公差按式(2－81)计算。取 $\delta_T = 0.02$ mm，$\delta_A = 0.04$ mm，则：

$$d_T = (d_{\min} + 0.4\Delta)_{-\delta_p}^{0} = (20.1 + 0.4 \times 0.1)_{-0.02}^{0}\ \text{mm} = 20.14_{-0.02}^{0}\ \text{mm}$$

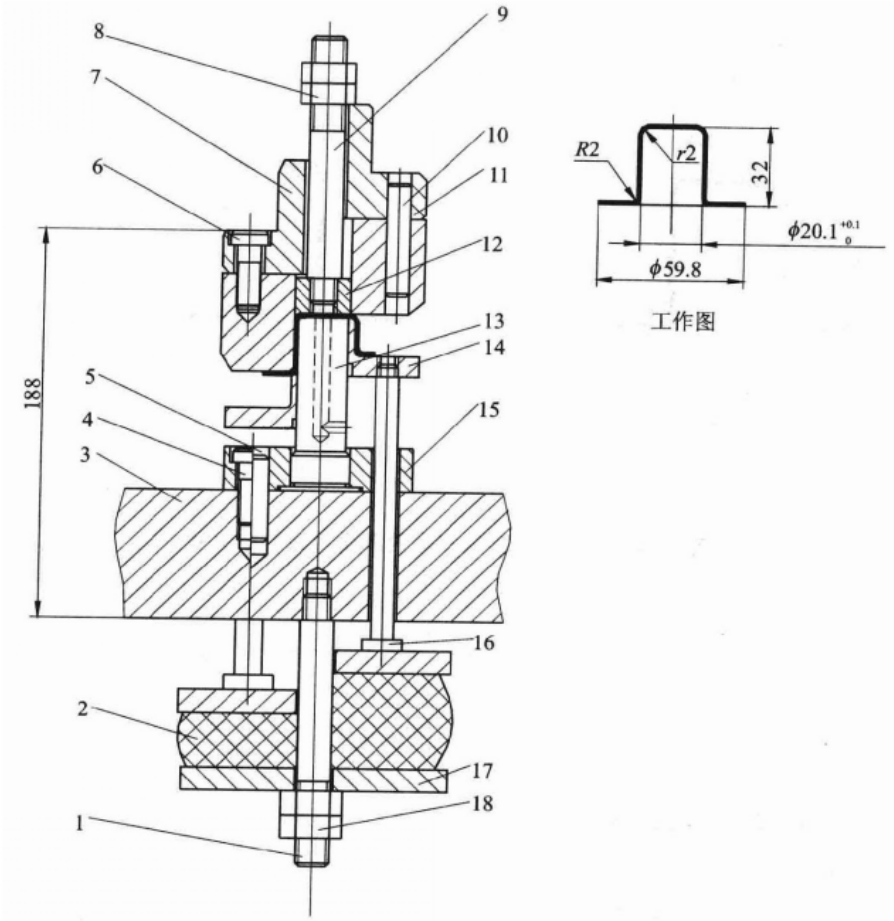
$$d_A = (d_{\min} + 0.4\Delta + 2Z)^{+\delta_d}_{0} = (20.1 + 0.4 \times 0.1 + 2 \times 1.05)^{+0.04}_{0}\ \text{mm} = 22.14^{+0.04}_{0}\ \text{mm}$$

（4）凸模通气孔

根据凸模直径大小，取通气孔直径为 5 mm。

5. 模具的总体设计

最后一次拉深模具的总装图如图 2－132 所示。因为压边力不大，故在单动压力机上拉深。本模具采用倒装式结构，凹模 11 固定在模柄 7 上，凸模 13 通过固定板 15 固定在下模座 3 上。上道工序拉深的工序件套在压边圈 14 上定位，拉深结束后，由推件板 12 将卡在凹模内的工件推出。



1—螺杆；2—橡胶；3—下模座；4，6—螺钉；5，10—销钉；7—模柄；8，18—螺母；9—拉杆；11—凹模；12—推件块；13—凸模；14—压边圈；15—固定板；16—顶杆；17—托板

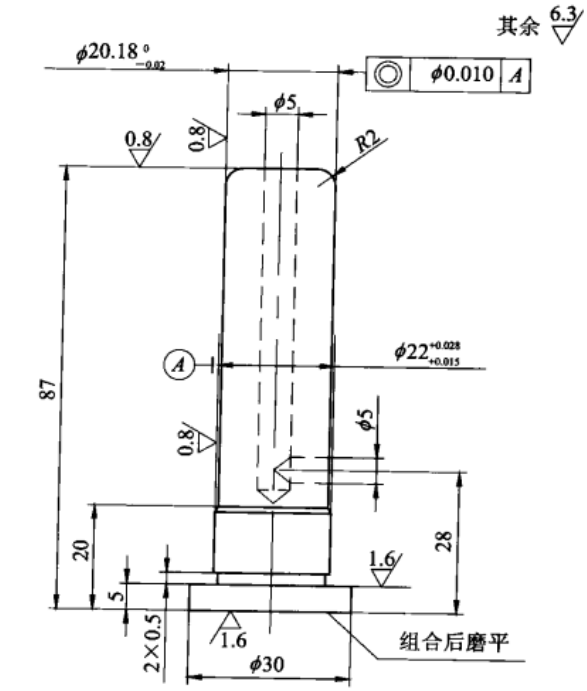
图 2－132　拉深模总装图

6. 压力机选择

根据公称压力 $F_g \geqslant 32.3$ kN，滑块行程 $s \geqslant 2h = 2 \times 32 = 64$ mm 及模具闭合高度 $H = 188$ mm，查冲压设备表，采用型号为 JC23－35 型开式双柱可倾压力机。

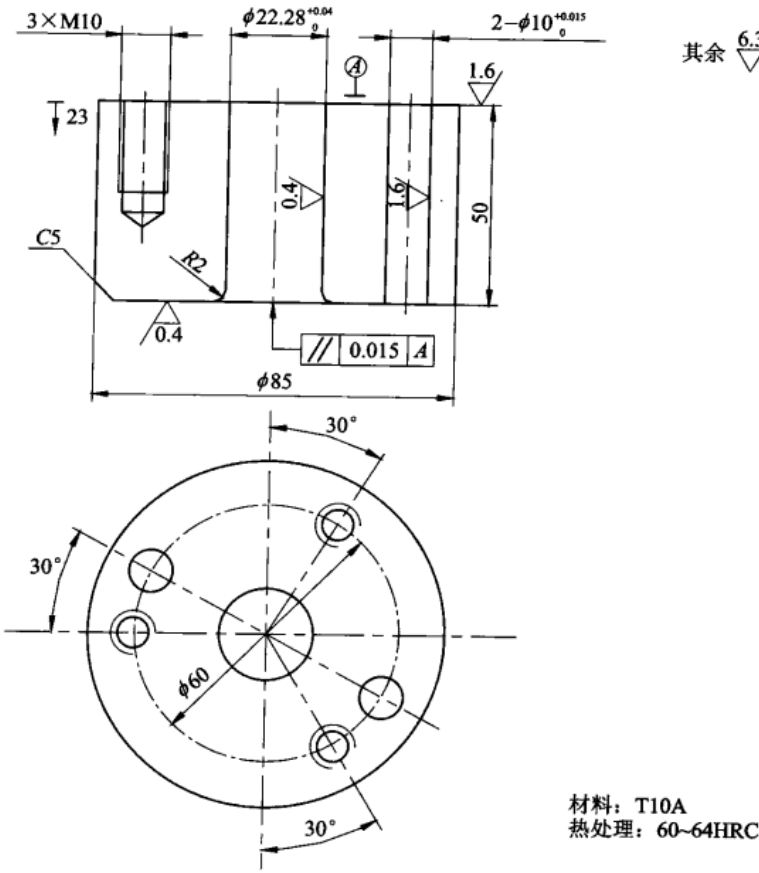
7. 模具主要零件设计

根据模具总装图结构、拉深工作要求及前述模具工作部分的尺寸计算，设计出拉深凸模、拉深凹模及压边圈，分别见图 2－133、图 2－134 和图 2－135。



材料:T10A
热处理:58~62HRC

图 2－133　拉深凸模



材料：T10A
热处理：60~64HRC

图 2－134　拉深凹模

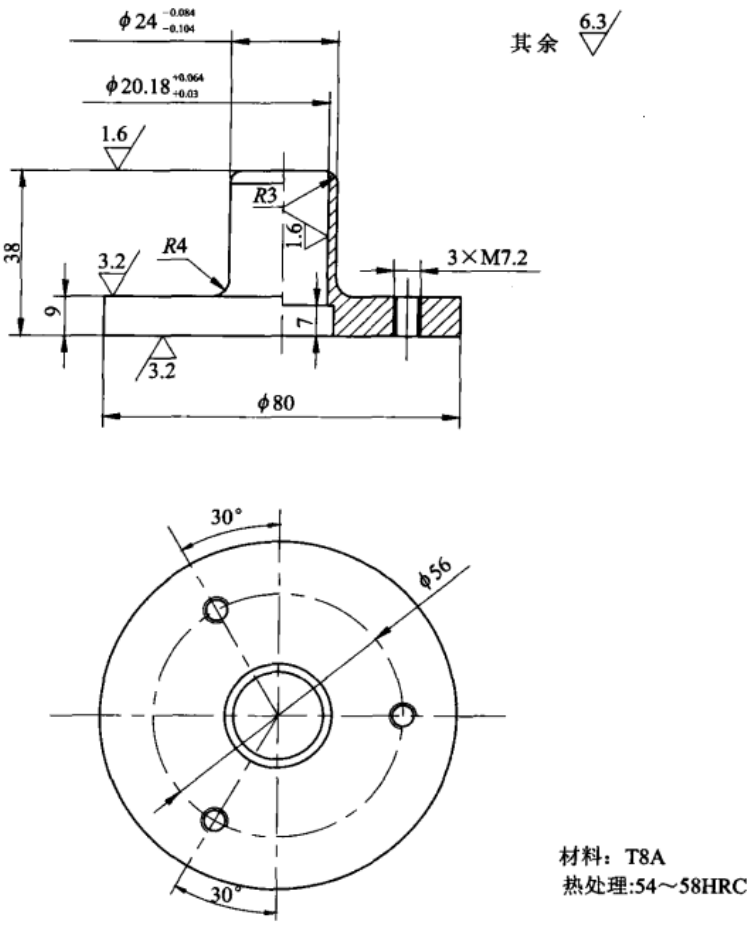


图 2－135　压边圈

2.5　冷冲压模具设计的步骤

在冲压生产中，模具设计必须在工艺方案确定的前提下进行。因此，当得到一个产品的零件图时，首先是进行工艺规程的制定，然后根据相应的工艺方案设计对应的模具。

2.5.1　搜集、分析冲压工艺的原始资料

冲压工艺规程的制定及模具的设计应在收集、调查研究并掌握有关设计的原始资料基础上进行，搜集、分析原始资料主要包括以下内容：

① 冲压件的产品图及技术要求。

② 产品原材料的尺寸规格、性能及供应情况。

③ 产品的生产批量及定型程度，它是制定冲压工艺规程中必须考虑的重要内容，直接影

响到加工方法的确定和模具类型的选择。

④ 分析冲压设备条件及可采用的模具标准件情况。

⑤ 分析模具制造条件及技术水平。

2.5.2　分析冲压件的工艺性并确定工艺方案

在清楚了解上述原始资料的基础上，进行工艺性分析，并制定冲压工艺方案。

1. 冲压件的分析

它包括两个方面：冲压件的经济性分析和冲压件的工艺性分析。

2. 冲压工艺方案的确定

工艺方案的确定是在对冲压件的工艺性分析之后应进行的重要环节。确定工艺方案主要要确定以下几个方面：

① 工序性质　即确定是哪一种工序来完成零件的加工的，如是冲裁还是拉深或是弯曲或其他工序。

② 工序数量　即要确定用几道工序来完成零件的加工过程，往往要通过工艺计算才能确定，如拉深件的工艺计算。

③ 工序顺序　即确定工序的先后顺序如何，如是先弯曲后冲孔还是先冲孔后弯曲。

④ 工序的组合方式等　有多道工序时如何组合，以达到最好的效果，如落料拉深组合、拉深整型组合等。

冲压工艺方案的确定要考虑多方面的因素，有时还要进行必要的工艺计算，因此实际中通常提出几种可能的方案，进行分析比较后确定最佳方案。

3. 工艺计算

① 排样与裁板方案的确定。根据冲压工艺方案，确定冲压件或坯料的排样方案，确定条料宽度和步距，选择板料规格，确定裁板方式，计算材料利用率。

② 冲压工序件的形状和工序尺寸计算。

4. 冲压设备的选择

计算变形力、模具的闭合高度、轮廓尺寸等因素，合理选定冲压设备的类型规格。

5. 编写冲压工艺文件

冲压工艺文件主要是冲压工艺卡(工艺规程卡)和冲压工序卡，它是指导工人进行生产的指导性技术文件。

2.5.3　模具结构类型的选择

工艺方案一般已确定了模具的类型，即单工序模或复合模或级进模，对每一种类型的模具，须进行结构的选择，包括工作零件结构、形状及固定方式，条料(毛坯)定位的零件选择，卸料方式，送料方向的选择，模架类型的选择等。对于复合模来说，在凸凹模壁厚足够的情况下，应优先采用倒装式复合模，当凸凹模壁厚较小时才考虑采用正装式。如果凸凹模壁厚更小，则要考虑采用级进模或单工序模。而级进模设计更多地应考虑条料的定位选择，一般来说，侧刃加导正销定位得到广泛应用。

2.5.4　模具零部件的设计、选用及计算

模具零部件的设计、选用及计算包括模具工作零件刃口尺寸的计算，凹模外形尺寸及压力

中心的确定。当凹模外形尺寸确定以后，便可根据凹模外形尺寸结合所选模具结构类型选用合适的模架及相对应的各种标准零件。

2.5.5 绘制冷冲模总装图

冷冲模总装图用以表明冲模结构、工作原理、组成冲模的全部零件及其相互位置和装配关系。一般情况下，冷冲模装配图用主视图和俯视图表示，若还不能表达清楚，可再增加侧视图、局部视图等其他视图，一般按 1∶1 的比例绘制。冷冲模装配图上要标明必要的尺寸和技术要求。总装图的图面布置一般按图 2－136 所示，总装图中的各项内容简要说明如下：

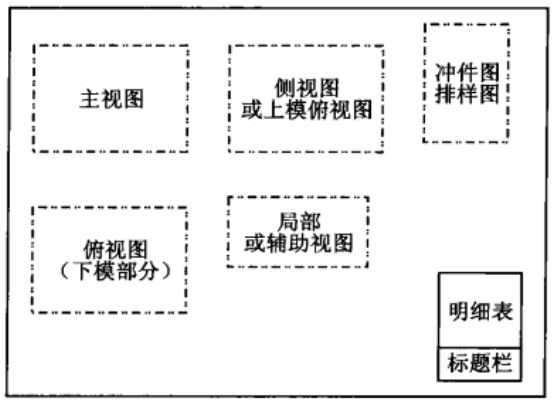


图 2－136 模具总装图的图面布置

1. 主视图

主视图放在图样的上面偏左，按冲模正对操作者方向绘制，采取剖面画法，一般按模具闭合状态绘制，在上、下模间有一完成的冲压件，断面涂红或涂黑。

主视图是模具装配图的主体，应尽量在主视图上将结构表达清楚，力求将凸、凹模的形状画完整。

2. 俯视图

通过俯视图可以了解冲模零件的平面布置、排样方法以及凹模的轮廓形状等。习惯将上模部分拿去，只反映模具的下模俯视可见部分；或将上模的左半部分去掉，只画下模，而右半部分保留上模画俯视图。

俯视图上，制件图和排样图的轮廓用双点划线表示。图上应标注必要的尺寸，如模具闭合高度、模架外形尺寸、模柄直径等，不标配合尺寸和形位公差。

3. 侧视图或上模俯视图、局部或辅助视图

这些视图一般情况下不要求画出，只有当模具结构过于复杂，仅用上述主视图和俯视图难以表达清楚时才按需要画出，但也宜少勿多，尽量使图面简洁明了。

4. 冲件图和排样图

冲件图和排样图通常画在图样的右上角，要注明制件的材料、规格以及制件的尺寸、公差等。若图面位置不够可另立一页。

对于多工序成型的制件，除绘制本工序的模具装配图外，还应绘出排样图，排样图布置在装配图的左边。此外，对于有落料工序的模具装配图，还应绘出排样图，排样图布置在冲件图

的下方，并注明条料宽度及公差、步距和搭边值。

冲件图和排样图应按比例绘出，若不一致，必须用箭头指明冲压方向。

5. 标题栏与明细表

标题栏与明细表布置在图样的右下角，并按机械制图国家标准填写。零件明细表应包括件号、名称、数量、材料、热处理、标准零件代号及规格、备注等内容。模具图中的所有零件都应详细填写在明细表中。

6. 技术要求

装配图和技术要求布置在图纸的下部的适当位置。其内容包括：凸、凹模间隙，模具闭合高度，该模具的特殊要求，其他按本行业国标或厂标执行。

2.5.6　绘制冲模非标准零件图

零件图的绘制和标注应符合机械制图国家标准的规定，要注明全部尺寸、公差配合、形位公差、表面粗糙度、材料、热处理要求及其他技术要求。冲模零件在图样上的方向应尽量按该零件在装配图中的方位画出，不要随意旋转或颠倒，以防画错，影响装配。

对凸、凹模配合加工，其配制尺寸可不标公差，仅在该标称尺寸右上角注上符号“*”，并在技术条件中说明：注“*”尺寸按凸(凹)模配作，保证间隙若干即可。

习　题

第 2.1 节习题

1. 什么是冷冲压加工？它与其他加工方法相比有什么特点？
2. 为什么冲压加工的优越性只有在批量生产的情况下才能得到充分体现？
3. 冲压工序可分为哪 2 大类？它们的主要特点和区别是什么？
4. 什么是冷冲模？
5. 如何选择冲压设备？

第 2.2 节习题

1. 板料普通冲裁时，其切断面具有什么特征？影响冲裁件断面质量的因素有哪些？
2. 分析冲裁间隙对冲裁件质量的影响。
3. 什么是材料的利用率？在冲裁工作中如何提高材料的利用率？
4. 什么是压力中心？压力中心在冲裁模设计中起什么作用？
5. 什么是冲裁力、卸料力、推件力和顶件力？如何根据冲裁模结构确定总冲压力？
6. 冲裁模一般由哪几类零部件组成？它们在冲裁模中分别起什么作用？
7. 试比较单工序模、级进模和复合模的结构特点及应用。
8. 冲裁模的卸料方式有哪几种？分别适应于何种场合？
9. 计算冲裁图 2－137 所示零件的凸、凹模刃口尺寸及其公差。图 2－137(a)按分别加工法，图 2－137(b)按配作加工法。
10. 用复合冲裁方式冲裁图 2－138 所示零件(材料 10 钢，厚度 2.2 mm)，生产批量为大

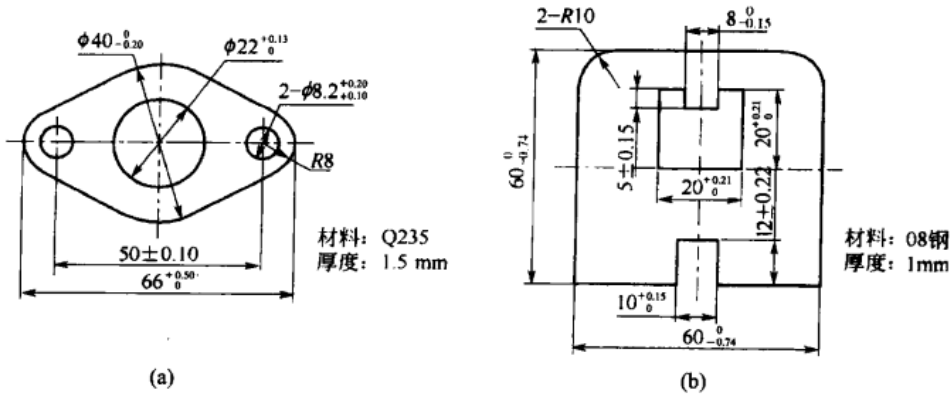


图 2-137　冲裁件零件图

批量。设模具采用弹性卸料、刚性推件的倒装式复合模，试完成以下有关冲裁工艺、模具设计工作：

(1) 确定合理的排样方法，画出排样图，并计算材料利用率和条料宽度(条料采用导料销和挡料销定位)；

(2) 计算冲压力及压力中心，并确定压力机的公称压力；

(3) 计算凸、凹模刃口尺寸(按配加工法)；

(4) 绘制模具结构草图；

(5) 绘制凸模、凹模及凸凹模零件图。

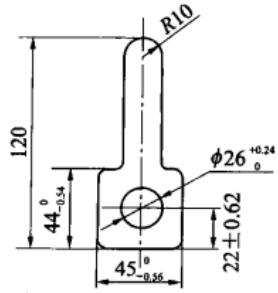


图 2-138　冲裁件零件图

第 2.3 节习题

1. 弯曲的变形程度用什么来表示？弯曲变形一般要经历哪几个阶段？

2. 什么是弯曲回弹现象？生产中减少回弹的措施有哪些？

3. 弯曲时的坯料产生偏移的原因有哪些？如何减小和克服偏移？

4. 弯曲图 2-139 所示零件，材料为 35 钢，已退火，厚度 $t=4$ mm，完成以下工作内容：

(1) 分析弯曲件的工艺性；

(2) 计算弯曲件的展开长度和弯曲力(采用校正弯曲)；

(3) 绘制弯曲模结构草图；

(4) 确定弯曲凸、凹模工作部位尺寸，绘制凸、凹模零件图。

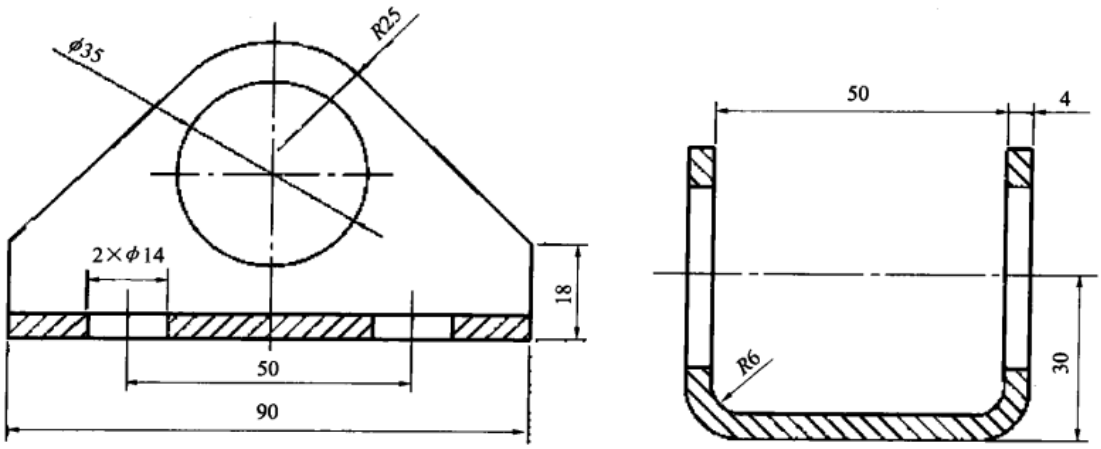


图 2－139　弯曲零件图

第 2.4 节习题

1. 什么是拉深？用拉深方法可以制成哪些类型的零件？
2. 拉深件的主要质量问题有哪些？如何进行控制？
3. 什么是拉深系数？什么是极限拉深系数？影响拉深系数的因素主要有哪些？
4. 拉深件的坯料尺寸计算遵循哪些原则？
5. 有凸缘圆筒形件需多次拉深时的拉深方法有哪些？
6. 图 2－140 所示圆筒形件需大批量生产，材料为 08F 钢，料厚为 1 mm，采用压边圈压料。试确定：
 (1) 该拉深件的坯料形状及尺寸；
 (2) 拉深次数及各工序件的工序尺寸；
 (3) 该工件的冲压工艺过程。

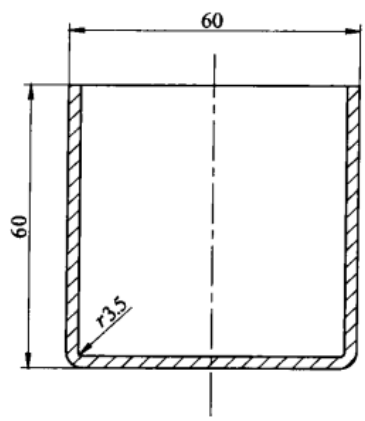


图 2－140　圆筒形件零件图

第3章　塑料模具设计

3.1　塑料概述

3.1.1　塑料的组成及特性

1. 塑料的基本组成

塑料是以合成树脂为主要成分，加入适量的添加剂(助剂)组成的。

(1) 合成树脂

合成树脂属于高分子聚合物，是塑料组成中基本的、必不可少的成分。它决定了塑料的类型和基本性能，如物理性能、化学性能、力学性能和电性能等。

(2) 添加剂

添加剂(助剂)包括填充剂、增塑剂、稳定剂、润滑剂和着色剂等。

1) 填充剂

填充剂(填料)在塑料中主要起两个作用：一是减少树脂含量，降低塑料成本；二是改善塑料的性能，扩大了塑料的应用范围。如聚乙烯(PE)、聚氯乙烯(PVC)树脂中加入钙质填料后，可得到价格低廉的具有刚性和耐热性的钙塑料；把玻璃纤维加入到塑料中，可大幅度提高塑料的力学性能；有的填充剂还可以使塑料具有树脂所没有的性能，如导电性、导磁性和导热性等。

填充剂有多种，按其化学结构可分为有机填料和无机填料；按其外观形状可分为粉状填料、纤维状填料和片状填料等；按其来源可分为矿物性填料、植物性填料和合成填料等；按其功能可分为增量型填料、增强型填料、阻燃型填料、导电型填料和耐热型填料等。常用的填充剂有木粉、碳酸钙、滑石粉、玻璃纤维和纸浆等。塑料中填充剂含量一般为20%～50%。

2) 增塑剂

增塑剂是现代塑料工业最大的助剂品种。使用增塑剂能够增加树脂的塑性、柔韧性和延伸性，改善成型性能，降低刚性和脆性。增塑剂的加入会降低塑料的稳定性、介电性和机械强度，因此在塑料中应尽量减少增塑剂的含量。

选用增塑剂的要求是增塑剂与树脂的相容性好，不易挥发、化学稳定性好，光、热稳定性好，还要求无毒、无臭、无色、不易燃烧和价廉等。常用的增塑剂有邻苯二甲酸二丁酯(DBP)、邻苯二甲酸二辛酯(DOP)、柠檬酸三丁酯、磷酸三甲苯酯和癸二酸二辛酯等。

3) 稳定剂

在塑料中加入稳定剂，能够有效地抑制或降低树脂在加工或使用过程中产生的有害化学变化，提高塑料的耐热、耐光性能，延缓塑料材料的降解、老化过程，延长塑料制品的使用寿命。

选用稳定剂首先要求与树脂的相容性好，其次要求在成型过程中最好不分解，挥发性小，无色、耐油、耐化学药品等。常用的稳定剂有热稳定剂、光稳定剂和抗氧剂等。稳定剂用量一般为塑料的0.3%～0.5%。润滑剂的含量一般小于1%。

4）润滑剂

润滑剂的主要作用是防止塑料在成型过程中发生粘附，有利于脱模，改善塑料的流动性，减少摩擦，并提高塑料表面光粗糙。润滑剂分为外润滑剂和内润滑剂两种。常用的润滑剂有硬脂酸、硬脂酸皂类、酰胺类和石蜡等。

5）着色剂

着色剂又称色母料，它能使塑料制件具有各种色彩，起装饰和美观的作用，同时还能提高塑料的光稳定性、热稳定性和耐候性。

一般对着色剂的要求是：性能稳定、着色力强、色泽鲜艳、分散性好，且具有耐热、耐光等性能。着色剂包括颜料和染料。颜料分为无机颜料和有机颜料。着色剂用量一般为塑料的0.01%～0.02%。

2. 塑料的特性

（1）密度小，质量轻

塑料密度一般在 0.83～2.2 kg/dm^3之间，只有钢的 1/8～1/4，铝的 1/2。

（2）比强度和比刚度高

塑料的强度和刚度比金属差，但塑料密度小，比强度（σ_b/ρ）相当高，尤其以各种高强度的纤维状、片状的金属或非金属为填料制成的增强塑料，其强度比一般钢材的比强度还高。塑料的比刚度（又称比弹性模量，E/ρ 表示）也较高。

（3）化学稳定性好

塑料对酸、碱、盐、气体和蒸汽具有良好的抗腐蚀作用。

（4）电绝缘性能好

塑料具有优良的电绝缘性能和耐电弧性。

（5）绝热、隔声性能好

塑料具有良好的绝热保温和隔声性能。

（6）耐磨性、自润滑性好

塑料的摩擦系数小、磨损率低、耐磨性高、自润滑性好。

（7）成型性能好

塑料在一定条件下具有良好的塑性，可用高生产率的成型方法制造各种塑料制品。

（8）粘结性能好

塑料一般都具有一定的粘结性能，可以与其他非金属或金属材料牢固粘结而制成复合材料和结构零件。

（9）多种防护性能

除上述的耐腐蚀性和绝缘性能外，塑料还具有防水、防潮、防透气、防辐射和防震等多种防护性能。有些塑料还具有特殊防护性能，如耐高温、耐超低温等。

塑料也存在着一些不足之处：机械强度和硬度比金属材料低，耐热性和导热性比金属材料差；吸水性大，易老化，膨胀和收缩性较大等。

3.1.2　塑料的分类

塑料的品种很多，分类的方法也很多。

1. 按塑料中树脂的分子结构及其特性分类

(1) 热塑性塑料

热塑性塑料中树脂的分子是线型或支链型结构。受热后能软化或熔融，可进行成型加工，冷却后硬化，成型为一定形状的制品。若再加热，又可软化并熔融，可再次进行成型加工，如此可反复进行多次，可回收再利用。其成型过程一般只有物理变化。常见的热塑性塑料有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、ABS 塑料、聚酰胺和聚甲醛等。

(2) 热固性塑料

热固性塑料中树脂的分子是呈立体网状结构。受热之初，其分子结构为线型或支链型，可以软化或熔融，成型一定的形状，继续加热时，分子发生交联反应，最终呈体型结构，即固化成型。如果再加热，不再软化，也不可回收再利用。其成型过程既有物理变化又有化学变化。常见的热固性塑料有酚醛塑料、氨基塑料、环氧塑料和脲醛塑料等。

2. 按塑料的用途分类

(1) 通用塑料

通用塑料一般只能作为非结构材料使用，它的产量大，用途广，价格低，性能一般。主要有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、酚醛塑料和氨基塑料 6 大品种，约占塑料总产量的 80%。

(2) 工程塑料

工程塑料可作为工程结构材料。与通用塑料相比，产量小，价格较高，但具有优良的力学性能、电性能、化学性能以及耐热性、耐磨性和尺寸稳定性，能在较广温度范围内承受机械应力和较为苛刻的化学及物理环境中使用。常见的工程塑料有聚甲醛、聚酰胺、聚碳酸酯、ABS 塑料、聚砜和有机玻璃等。

(3) 功能塑料

功能塑料是指用于特种环境中，具有某一方面的特殊性能的塑料。主要有医用塑料、光敏塑料、导磁塑料、高耐热性塑料及高频绝缘性塑料等。这类塑料产量小，价格较贵，性能优异。

3.1.3 塑料的工艺性能

1. 热塑性塑料的工艺性能

(1) 收缩性

塑件从温度较高的模具中取出冷却到室温后，其尺寸或体积会发生收缩的现象，称为收缩性。收缩性的大小可用相对收缩量的百分率表示，即收缩率。收缩率分为实际收缩率 S_s 和计算收缩率 S_j 两种，其计算公式如下：

$$S_s = \frac{a-b}{b} \times 100\% \tag{3-1}$$

$$S_j = \frac{c-b}{b} \times 100\% \tag{3-2}$$

式中：a——模具或塑件在成型温度时的尺寸；

b——塑件在室温时的尺寸；

c——模具在室温时的尺寸。

在成型温度下塑件尺寸不便测量，再加上实际收缩率和计算收缩率相差很小，所以生产中常采用计算收缩率进行计算。但对于大型及精密模具成型零件尺寸计算时，则采用实际收

缩率。

(2) 流动性

塑料在一定的温度和压力作用下，充满模具型腔能力，称为塑料的流动性。不同的塑料流动性各异，同一种塑料不同牌号其流动性也不同。塑料的流动性差，成型时就不易充满模具型腔，故需要较大的成型压力才能成型；相反，塑料的流动性好，可以用较小的成型压力便可充满型腔。但流动性太好，会在成型时产生严重的溢边。热塑性塑料可用熔融指数和阿基米德螺旋线长度来表示流动性大小。

(3) 结晶性

热塑性塑料按其冷凝时有无结晶现象，可分为结晶型塑料和非结晶型塑料(又称无定型塑料)两大类。所谓结晶现象就是塑料由熔融态到冷凝过程中，分子由无次序的自由运动状态而逐渐排列成为正规模型倾向的一种现象。属于结晶型塑料的有聚乙烯、聚丙烯、聚四氟乙烯、聚甲醛、聚酰胺和氯化聚醚等；属于非结晶型的塑料有聚苯乙烯、聚碳酸酯、ABS、聚砜和聚甲基丙烯酸甲酯等。

一般来说，结晶型塑料是不透明的或半透明的，非结晶型塑料是透明的。但也有例外，如聚 4 -甲基戊烯- 1 为结晶型塑料，却有高度的透明性；ABS 塑料属于非结晶型塑料，却不透明。

结晶型塑料一般使用性能较好，结晶时不大可能形成完全的晶体，一般只能有一定程度的结晶。结晶度大的塑料密度大，强度、硬度和刚度高，耐磨性、耐化学性和电性能好；结晶度小的塑料柔软性和透明性好，伸长率和冲击韧性较大。

(4) 热敏性

热敏性是指某些塑料对热较为敏感，在高温下受热时间长或受剪切作用力大时，料温增高而产生变色、降解、分解的特性。具有这种特性的塑料称为热敏性塑料。如硬聚氯乙烯、醋酸乙烯共聚物、聚甲醛、聚三氟氯乙烯等。

热敏性对塑料的成型加工影响很大。为了防止热敏性塑料在成型过程中出现分解等现象，一方面在塑料中加入一些抗热敏性的热稳定剂，并控制成型加工的温度和加工周期；另一方面合理设计模具结构，选择合适的成型设备。

(5) 吸湿性

吸湿性是指塑料对水分子的亲疏程度。按吸湿能力大小，塑料大致可分为吸湿、粘附水分及不吸水也不易粘附水分的两种。塑料中的含水量必须控制在允许范围内，不然在高温、高压下水分变成气体或发生水解作用，导致塑料起泡、流动性下降、外观及力学性能不良。因此对吸湿性强的塑料必须在成型前进行干燥处理。

(6) 应力开裂及熔体破裂

有些塑料如聚苯乙烯、聚碳酸酯和聚砜等对应力敏感，成型时易产生内应力并质脆易裂，塑件在外力或溶剂作用下即发生开裂，这种现象称为应力开裂。为防止这种缺陷产生，一方面可在塑料中加入增强添加剂加以改性；另一方面应合理安排成型工艺过程和设计模具，如成型前的预热干燥，正确确定成型工艺条件，对塑件进行后处理，合理设计模具浇注系统和推出装置等；同时，还要注意提高塑件的结构工艺性。

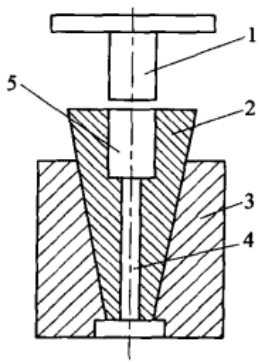
当一定融熔指数的塑料熔体，在恒温下通过喷嘴孔时，其流速超过一定值后，熔体表面发生明显横向裂纹，这种现象称为熔体破裂。发生熔体破裂有损塑件外观及性能。故在选用熔

融指数较大的塑料时，应增大喷嘴、流道、浇口截面以减小注射速度，提高料温，从而防止熔体破裂现象的产生。

2. 热固性塑料的工艺性能

（1）收缩性

热固性塑料成型收缩的形式及影响因素与热塑性塑料基本相同。在模具设计时应根据影响因素综合考虑选取塑料的收缩率，其收缩率的计算方法与热塑性塑料相同。



1—凸模；2—凹模；3—模套；4—流料槽；5—加料室

图 3-1　拉西格流动性测定模

（2）流动性

热固性塑料的流动性通常用拉西格流动性来表示。图 3-1 是拉西格流动性测定模。将一定重量的热固性塑料预压成圆锭，将圆锭放入压模中，在一定的温度和压力下，测定塑料自模孔中挤出的长度（单位为 mm），此即为拉西格流动性，数值越大流动性越好。每一品种的塑料的流动性通常分为 3 个等级，以供不同的塑件及成型工艺选用。塑料的流动性除了与塑料本身的性质有关外，还与模具结构、表面粗糙度及成型工艺条件等有关。

（3）固化特性

热固性塑料在成型过程中，树脂发生交联反应，分子结构由线型变为体型，塑料由既可熔又可溶变为既不熔又不溶的状态，在成型工艺中把这一过程称为固化。固化速度通常以固化 1 mm 厚的塑料试样所需的时间来表示，单位为 s/mm。

固化速度与塑料品种、塑件壁厚、结构形状、成型温度以及是否预热和预压等因素有关。采用预压的锭料、预热、提高成型温度和增长加压时间，都能加快固化速度，但固化速度必须与成型方法和塑件大小及复杂程度相适应。对于注射成型，要求在塑化、充模阶段化学反应要慢，而在充满型腔后则应加快固化速度。结构复杂的塑件，固化速度过快，则难以成型。

（4）比容与压缩率

比容是指单位质量的松散塑料所占的体积，单位为 cm^3/g。压缩率是指塑料的体积与塑件的体积之比，其值恒大于 1。

比容和压缩率都表示粉状或纤维状塑料的松散程度，都可作为确定模具加料室的大小的依据。比容和压缩率大，则要求加料腔大，塑料内部充气多，成型时排气困难，成型周期长，生产率低；比容和压缩率小，情况则相反。但比容和压缩率太小，以容积法装料则会造成加料量不准确。

（5）水分及挥发物

塑料中水分及挥发物来自两个方面：一是塑料生产过程中残留下来的及储存、运输中吸收的；二是成型过程中发生化学反应的副产物。

塑料中适量的水分及挥发物含量，在成型过程中可起增塑作用，利于提高塑料流动性，便于成型；塑料中水分及挥发物含量过多时，会引起塑料流动性过大，易产生溢料，成型周期加长，收缩率增大，塑件易发生翘曲、变形、组织疏松及裂纹等缺陷，性能降低；塑料中水分及挥发物含量不足时，会导致流动性不良，成型困难。

3.1.4　常用塑料简介

1. 热塑性塑料

(1) 聚乙烯(PE)

聚乙烯是由乙烯单体聚合而成的，属于烯烃类聚合物，是目前合成树脂中产量最大、用途最广的品种，约占世界塑料总产量的 30%。聚乙烯是无味、无毒的可燃白色粉末。挤出的则呈乳白色，密度为 0.91～0.98 g/cm^3。

聚乙烯具有优良的绝缘性、耐低温性；化学稳定性很好；还有很好的耐水性，长期与水接触，其性能保持不变；聚乙烯的成型性能也很好。可以采用挤出、注射、中空吹塑和滚塑等多种成型方法成型塑料制品。

按合成时所采用的压力不同，聚乙烯的聚合方法可分为高压法、中压法和低压法，所得到的聚合物相应地称为高压聚乙烯、中压聚乙烯和低压聚乙烯。

聚乙烯可用于制造电气绝缘零件，尤其是各种高频通信电缆和海底电缆；可用挤出成型生产各种管材、绳；可用于吹塑薄膜作为包装材料；可用注射成型生产机械零件和日用品等；还可以制成防油脂、防湿的涂覆纸。

(2) 聚丙烯(PP)

聚丙烯是由丙烯单体聚合而成的，其产量仅次于聚乙烯和聚氯乙烯。聚丙烯是无味、无毒的白色蜡状透明塑料，密度为 0.90～0.91 g/cm^3，是通用塑料中最轻的一种。与聚乙烯相比，透明性更高，但透气性更低。

聚丙烯具有优良的耐热性、化学稳定性、电性能和力学性能，易于成型，具有聚乙烯的所有优良性能，比聚乙烯坚韧、耐磨及耐热，并具有聚乙烯不具备的性能。

聚丙烯可用来制造家电零部件，如洗衣筒、电冰箱内箱、电风扇等；机械零件，如齿轮、泵的叶轮等；化工设备中的法兰、管接头、阀门配件等；日用品，如包装和食品用的薄膜及容器等；此外，还可用于挤出电线电缆、管材、板材等。

(3) 聚氯乙烯(PVC)

聚氯乙烯树脂是线型结构、非结晶型的高聚物，聚氯乙烯是热塑性通用塑料中耗能和生产成本最低的品种，应用广泛。目前世界产量仅次于聚乙烯。聚氯乙烯树脂为白色或浅黄色粉末，通常不易燃烧，离火即灭。

常用的聚氯乙烯有硬聚氯乙烯和软聚氯乙烯。硬聚氯乙烯不含或含有少量的增塑剂，有较高的强度和硬度，介电性能好，化学稳定性好，抗酸碱能力强，但耐热性不高。其脆化温度低于－50～60 ℃，在 75～80 ℃之间变软。软聚氯乙烯含有较多的增塑剂，其柔软性、断裂伸长率、耐寒性和耐光性增加，但脆性、硬度和强度降低。聚氯乙烯是无定形高聚物，没有明显的熔点，加热到 120～150 ℃时具有可塑性，它的热稳定性差，在一定温度下会有少量的氯化氢气体(HCl)放出，促使其进一步分解变色，因此需加入碱性稳定剂防止其分解，它的使用温度范围也较窄，一般在－15～55 ℃之间。

聚氯乙烯可用于生产防腐管道、管件、输油管、离心泵和鼓风机等耐腐蚀零件；聚氯乙烯的硬板广泛用于各种贮槽的衬里、建筑物的瓦楞板、门窗结构和墙壁装饰物等；由于电绝缘性能优良而在电气、电子工业中用于制造插座、插头、开关和电线电缆等；可用于制造雨衣、玩具和人造革等日用品。

(4) 聚苯乙烯(PS)

聚苯乙烯是仅次于聚乙烯、聚氯乙烯和聚丙烯的第四大塑料品种。聚苯乙烯是一种无色、无味、透明并有光泽的非结晶型高聚物，密度为 1.05 g/cm^3。

聚苯乙烯透明性好，透光率高，光学性能仅次于有机玻璃；电性能优良，是理想的高频绝缘材料；抗拉强度和抗弯强度较高；化学稳定性好，耐酸、碱、醇、油和水等的能力较强。但对氧化剂、苯、酮类和酯类等抵抗能力较差；耐热性不高，易燃，使用温度为－30～80 ℃；耐磨性较差，质脆，耐冲击性较差；导热系数小。

聚苯乙烯成型性能优良，在工业上可制作仪表外壳、电视机外壳、灯罩、化学仪器零件和透明模型等；在电气方面可用做良好的绝缘材料、接线盒、电池盒和高频插座等电气零件；在日用品方面广泛用于包装材料、各种容器及玩具等。

(5) ABS 塑料

ABS 塑料是由丙烯腈、丁二烯和苯乙烯共聚而成的聚合物，是目前产量最大、应用最广的一种工程塑料。ABS 塑件外观为粒状或粉状，颜色微黄，无毒、无味、不透明，可燃烧，但燃烧缓慢且有特殊刺激性气味，密度为 1.02～1.20 g/cm^3。

ABS 塑料具有 3 种组合成分的综合性能，有较高的抗冲击强度；有良好的机械强度、化学稳定性、电性能和较高的耐磨性、耐寒性、耐油性和耐水性；有较高的硬度和尺寸稳定性，易于成型，易于着色。ABS 塑料几乎不受酸、碱、盐及无机物的影响，溶于酮、醛、酯中，不溶于大部分醇类及烃类溶剂。其热稳定性差，热变形温度为 93 ℃，脆化温度为－27 ℃，使用的温度范围为－40～100 ℃，且耐气候性和耐紫外线性能也差。

ABS 塑料具有良好的综合性能和成型性能，因此应用广泛。在机械工业上可用来制造电池槽、管道、电机外壳、冰箱衬里、仪表壳、齿轮、泵叶轮、把手和轴承等；在汽车工业上可制造汽车仪表盘、扶手、汽车挡泥板和加热器等；还可用于轻工和日用品，如纺织器材、家用电器外壳、玩具、文教体育用品和食品包装容器等。

(6) 聚酰胺(PA)

聚酰胺通称尼龙，我国的商品名称为“锦纶”，消费量居工程塑料的首位。尼龙本身无毒、无味、不霉烂。尼龙的品种很多，如尼龙 1313、尼龙 1010、尼龙 610、尼龙 66、尼龙 9 和尼龙 6 等。

尼龙有优良的力学性能，其抗冲击强度、硬度、耐磨性比一般塑料有显著提高；尼龙具有良好的消音效果和自润滑性能，耐油性、耐化学性能良好，对酸、碱、盐性能稳定，不溶于普通的有机溶剂和油脂。但尼龙的吸水性强，收缩率大；电性能也不是很好；热稳定性较差，一般只能在 80～100 ℃之间使用。

由于尼龙具有良好的力学性能，在工业上可用做耐磨零件和传动零件，如轴承、齿轮、滑轮、滚子、衬套和铰链等；制造电气零件，如电器线圈骨架、垫片、支架和外壳等；还可用做阀座、密封圈、薄膜及日用品等。

(7) 聚碳酸酯(PC)

聚碳酸酯是一种性能优良的热塑性工程塑料，它在工程技术领域应用广泛，仅次于聚酰胺。聚碳酸酯本色微黄，无毒、无味，密度为 1.2 g/cm^3。

聚碳酸酯力学性能优良，其抗拉和抗弯强度与聚酰胺和聚甲醛相当，抗冲击和抗蠕变性能突出，耐热性、耐寒性、耐气候性及电性能都很优良，具有一定的化学稳定性，吸水性较小，透光

率高；但耐疲劳强度低，耐磨性较差。

聚碳酸酯广泛应用于机械、电气、光学和医药等各领域。在机械工业中用于制造传递中、小负荷的零部件，如齿轮、蜗轮、蜗杆、轴和凸轮等，还可制造转速不高的耐磨件，如轴套、导轨等；在电器、电子工业中可用于各种绝缘接插件、管座、计算机和电视机的零部件；利用透光率高，可制造大型灯罩、门窗玻璃等；还可制造医疗器械。

2. 热固性塑料

(1) 酚醛塑料(PF)

酚醛塑料是酚类与醛类经过缩聚反应而得到的高聚物，是应用最广泛的一种热固性塑料。硬化后的酚醛树脂呈琥珀玻璃态，耐矿物油、硫酸和盐酸，但不耐强酸、强碱及硝酸；酚醛塑料质脆，表面硬度高，刚度大，尺寸稳定、耐热性好，能在 150～200 ℃温度范围内长期使用；具有良好的电绝缘性能；在水润滑条件下有极低的摩擦系数(0.01～0.03)。

根据酚醛塑料所用添加剂不同，可分为酚醛塑料粉、纤维状酚醛塑料、层状酚醛塑料。酚醛塑料具有良好的成型性能，常用于压缩成型。

酚醛塑料粉广泛用于压制各种工作条件下的电器、高频无线电的绝缘结构零件。纤维状酚醛塑料广泛用于制造耐磨零件，如齿轮、轴承、滚轮和凸轮等；制动零件，如离合器和制动器中的摩擦片或制动块等；电子、电器中的线圈骨架、开关、支架和绝缘柱等零件。层状酚醛塑料可进行层压或卷绕成板、管、棒材及其他塑料制品。

(2) 氨基塑料

氨基塑料是以氨基有机化合物与醛类经缩聚反应而得到的树脂为基础，加入各种添加剂的塑料，主要包括脲-甲醛塑料(UF)、三聚氰胺-甲醛塑料等。

脲-甲醛塑料可以脲-甲醛树脂为基础制成脲-甲醛压塑粉、层压塑料、泡沫塑料和黏合剂。脲-甲醛压塑粉价格便宜，表面硬度高、耐油、耐磨、耐弱碱和有机溶剂，但不耐酸；易着色，外观明亮，颜色鲜艳，半透明如玉；具有优良的电绝缘性能和耐电弧性。但耐火性差，吸水性强。可制造一般的电绝缘零件和机械零件，如插头、插座、开关、旋钮和仪表壳等；也可用于制造日用品，如钮扣、塑料碗等；还可作为木材胶合剂，制造胶合板和层压塑料。

三聚氰胺-甲醛塑料同样具有优良的电绝缘性和耐电弧性；表面硬度高于酚醛塑料，不易污染，不易燃烧；耐水性好，耐热性比脲-甲醛塑料高，采用矿物填料时可在 150～200 ℃长期使用。但三聚氰胺-甲醛塑料制造成本高。这类塑件可用于制造电子、电器零件以及电绝缘零件，如各种电子元件、照明零件、开关、防爆电器设备配件和电动工具绝缘件等；还可作为装饰板的黏合剂。

(3) 环氧树脂(EP)

环氧树脂是含有环氧基的高分子化合物。环氧树脂的品种很多，其中产量最大、应用最广的是双酚 A 型环氧树脂。

环氧树脂具有电绝缘性能好、耐热、收缩率小、流动性好、固化速度快、固化过程中没有副产物放出等成型特性，其缺点是耐气候性、耐冲击性差，质地脆。

环氧树脂主要用做黏合剂(“万能胶”的主要成分)、浇铸塑料、层压塑料、涂料和压制塑料等。它可以粘结各种材料；灌封和固定电子元件及线圈，浇铸固定模具中的凸模或导柱导套；经环氧树脂浸渍的玻璃纤维可以层压或卷绕成型各种制品，环氧树脂制成板几乎垄断了印刷电路板；加入增强剂的环氧树脂塑料，可压制成结构零件；还可作为防腐涂料。

3.2 塑料制件的设计

塑料制件设计视塑料成型方法和塑料性能不同而有所差异，本节主要讨论具有代表性的、产量最大、结构复杂的注射、压缩、压注成型塑件的设计。

塑料制件主要是根据使用要求进行设计。为了得到合格的塑料制件，除合理选用塑料材料外，还必须考虑塑件的结构工艺性。在满足使用要求的前提下，塑件形状、结构应尽可能地做到简化模具结构，符合成型工艺特点，从而既保证塑件顺利成型，又降低成本，提高生产效率。在设计塑料制件时必须考虑以下几方面的因素：

① 塑料的物理机械性能、化学性能、电性能和热性能，如强度、吸水性、耐老化性和耐热性等。

② 塑料的成型工艺性，如流动性、收缩性等。

③ 塑件的形状结构应力求简单，且有利于充模流动、排气、补缩，同时能适应高效冷却硬化(热塑性塑料制品)或快速受热固化(热固性塑料制品)。

④ 模具的总体结构，特别是抽芯与脱模的复杂程度。

⑤ 模具零件的形状及其制造工艺。

塑料制件设计的主要内容包括塑件的尺寸、精度、表面质量、形状、壁厚、斜度、加强筋、支承面、圆角、孔、螺纹、齿轮、嵌件、标记、符号及文字等。

3.2.1 塑件的尺寸、精度和表面质量

1. 尺　寸

这里的尺寸是指塑件的总体尺寸，而不是壁厚、孔径等结构尺寸。

塑件尺寸的设计受塑料流动性的影响。对于流动性差的塑料(如玻璃纤维增强塑料)和薄壁塑件，在注射模塑和压注模塑时塑件尺寸不宜设计得过大，以免不能充满型腔或形成熔接痕，影响塑件的外观和强度。另外，压缩模塑的塑件尺寸受到压机最大压力及台面尺寸的限制；注射模塑的塑件尺寸受到注射机的注射量、锁模力及模板尺寸的限制。

2. 精　度

塑件的尺寸精度是指所获得的塑件尺寸与设计尺寸的符合程度。影响塑件精度的因素十分复杂，除与模具制造精度和模具磨损有关外，还与塑料收缩率的波动、成型时工艺条件的变化、飞边厚度的变化及脱模斜度等因素有关。因此，塑件精度确定应合理，尽可能选用低精度等级。

表 3-1 为我国工程塑料模塑塑件尺寸公差的国家标准 GB/T 14486—93。塑件尺寸公差的代号为 MT，公差等级分为 7 级，每一级又分为 A、B 两部分。其中，A 为不受模具活动部分影响尺寸的公差，B 为受模具活动部分影响尺寸的公差。该标准只规定标准公差值，上、下偏差可根据塑件的配合性质来分配。

塑件公差等级的选用与塑料品种有关，见表 3-2。

表 3-1 塑件公差数值表(GB/T 14486—93)

mm

公差等级	公差种类	基本尺寸																								
		>0~3	3~6	6~10	10~14	14~18	18~24	24~30	30~40	40~50	50~65	65~80	80~100	100~120	120~140	140~160	160~180	180~200	200~225	225~250	250~280	280~315	315~355	355~400	400~450	450~500
标注公差的尺寸公差值																										
MT1	A	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.23	0.26	0.29	0.32	0.36	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.60	06.4	0.70	0.78	0.86
	B	0.14	0.16	0.18	0.20	0.21	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.33	0.36	0.39	0.42	0.46	0.50	0.54	0.58	0.62	0.66	0.70	0.74	0.80	0.88	0.96
MT2	A	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.30	0.34	0.38	0.42	0.46	0.50	0.54	0.60	0.66	0.72	0.76	0.84	0.92	1.00	1.10	1.20
	B	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.60	0.64	0.70	0.76	0.82	0.86	0.94	1.02	1.10	1.20	1.30
MT3	A	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	0.40	0.46	0.52	0.58	0.64	0.70	0.78	0.86	0.92	1.00	1.10	1.20	1.30	1.44	1.60	1.74
	B	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.60	0.66	0.72	0.78	0.84	0.90	0.98	1.06	1.12	1.20	1.30	1.40	1.50	1.64	1.80	1.94
MT4	A	0.16	0.18	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	0.42	0.48	0.56	0.64	0.72	0.82	0.92	1.02	1.12	1.24	1.36	1.48	1.62	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60
	B	0.36	0.38	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.62	0.68	0.76	0.84	0.92	1.02	1.12	1.22	1.32	1.44	1.56	1.68	1.82	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80
MT5	A	0.20	0.24	0.28	0.32	0.38	0.44	0.50	0.56	0.64	0.74	0.86	1.00	1.14	1.28	1.44	1.60	1.76	1.92	2.10	2.30	2.50	2.80	3.10	3.50	3.90
	B	0.40	0.44	0.48	0.52	0.58	0.64	0.70	0.76	0.84	0.94	1.06	1.20	1.34	1.48	1.64	1.80	1.96	2.12	2.30	2.50	2.70	3.00	3.30	3.70	4.10
MT6	A	0.26	0.32	0.38	0.46	0.54	0.62	0.70	0.80	0.94	1.10	1.28	1.48	1.72	2.00	2.20	2.40	2.60	2.90	3.20	3.50	3.80	4.30	4.70	5.30	6.00
	B	0.46	0.52	0.58	0.68	0.74	0.82	0.90	1.00	1.14	1.30	1.48	1.68	1.92	2.20	2.40	2.60	2.80	3.10	3.40	3.70	4.00	4.50	4.90	5.50	6.20
MT7	A	0.38	0.48	0.58	0.68	0.78	0.88	1.00	1.14	1.32	1.54	1.80	2.10	2.40	2.70	3.00	3.30	3.70	4.10	4.50	4.90	5.40	6.00	6.70	7.40	8.20
	B	0.58	0.68	0.78	0.88	0.98	1.08	1.20	1.34	1.52	1.74	2.00	2.30	2.60	3.10	3.20	3.50	3.90	4.30	4.70	5.10	5.60	6.20	6.90	7.60	8.40
未注公差的尺寸允许偏差																										
MT5	A	±0.10	±0.12	±0.14	±0.16	±0.19	±0.22	±0.25	±0.28	±0.32	±0.37	±0.43	±0.50	±0.57	±0.64	±0.72	±0.80	±0.88	±0.96	±1.05	±1.15	±1.25	±1.40	±1.55	±1.75	±1.95
	B	±0.20	±0.22	±0.24	±0.26	±0.29	±0.32	±0.35	±0.38	±0.42	±0.47	±0.53	±0.60	±0.67	±0.74	±0.82	±0.90	±0.98	±1.06	±1.15	±1.25	±1.35	±1.50	±1.65	±1.85	±2.05
MT6	A	±0.13	±0.16	±0.19	±0.23	±0.27	±0.31	±0.35	±0.40	±0.47	±0.55	±0.64	±0.74	±0.86	±1.00	±1.10	±1.20	±1.30	±1.45	±1.60	±1.75	±1.90	±2.15	±2.35	±2.65	±3.00
	B	±0.23	±0.26	±0.29	±0.33	±0.37	±0.41	±0.45	±0.50	±0.57	±0.65	±0.74	±0.84	±0.96	±1.10	±1.20	±1.30	±1.40	±1.55	±1.70	±1.85	±2.00	±2.25	±2.45	±2.75	±3.10
MT7	A	±0.19	±0.24	±0.29	±0.34	±0.39	±0.44	±0.50	±0.57	±0.66	±0.77	±0.90	±1.05	±1.20	±1.35	±1.50	±1.65	±1.85	±2.05	±2.25	±2.45	±2.70	±3.00	±3.35	±3.70	±4.10
	B	±0.29	±0.34	±0.39	±0.44	±0.49	±0.54	±0.60	±0.67	±0.76	±0.87	±1.00	±1.15	±1.30	±1.45	±1.60	±1.75	±1.95	±2.15	±2.35	±2.55	±2.80	±3.10	±3.45	±3.80	±4.20

表 3-2 精度等级的选用

类别	塑料品种	公差等级		
		标注公差尺寸		未注公差尺寸
		高精度	一般精度	
1	聚苯乙烯(PS) 聚丙烯(PP,无机填料填充) ABS 丙烯腈-苯乙烯共聚物(AS) 聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA) 聚碳酸酯(PC) 聚醚砜(PESU) 聚砜(PSU) 聚苯醚(PPO) 聚苯硫醚(PPS) 聚氯乙烯(硬)(RPVC) 尼龙(PA,玻璃纤维填充) 聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBTP,玻璃纤维填充) 聚邻苯二甲酸二丙烯酯(PDAP) 聚对苯二甲酸乙二醇酯(PBTP,玻璃纤维填充) 环氧树脂(EP) 酚醛塑料(PF,无机填料填充) 氨基塑料和氨基酚醛塑料(VF/MF,无机填料填充)	MT2	MT3	MT5
2	醋酸纤维素塑料(CA) 尼龙(PA,无填料填充) 聚甲醛(≤150 mmPOM) 聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBTP,无纤维填充) 聚对苯二甲酸乙二醇酯(PBTP,无纤维填充) 聚丙烯(PP,无填料填充) 氨基塑料和氨基酚醛塑料(VF/MF,有机填料填充) 酚醛塑料(PF,有机填料填充)	MT3	MT4	MT6
3	聚甲醛(>150 mm POM)	MT4	MT5	MT6
4	聚氯乙烯(软)(SPVC) 聚乙烯(PE)	MT5	MT6	MT7

3. 表面质量

塑件的表面质量包括有无斑点、条纹、凹痕、起泡和变色等缺陷，还有表面光泽性和表面粗糙度。表面缺陷必须避免；表面光泽性和表面粗糙度应根据塑件的使用要求而定。

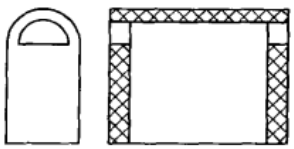
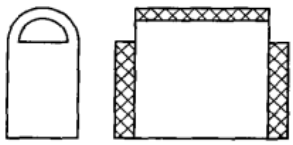
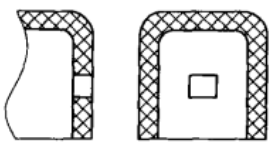
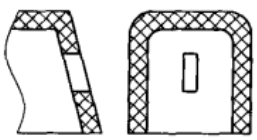
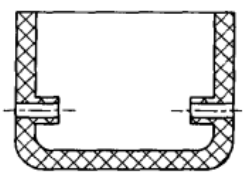
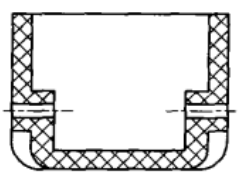
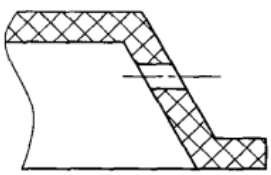
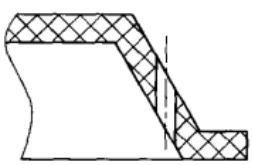
塑件的表面粗糙度主要取决于模具型腔表面的粗糙度。一般来说，塑件表面粗糙度 R_a 的值为 0.8～0.2 μm，模具的表面粗糙度要比塑件低 1～2 级。

3.2.2　塑件的结构设计

1. 形　状

塑件的形状应有利于成型，尽量简单，结构上应尽可能避免垂直于脱模方向的侧向凹凸或侧孔，以免采用瓣合分型或侧抽芯等复杂的模具结构。表 3－3 所列为塑件形状有利于塑件成型的典型实例。

表 3－3　塑件形状有利于成型的典型实例

序　号	不合理	合　理	说　明
1			塑件侧孔改为右图形式，避免了侧向抽芯机构
2			增加塑件侧壁斜度，可采用组合型芯成型，避免了侧向抽芯机构
3			塑件结构在保证侧孔长度不变的情况下，避免了内侧凹，便于脱模
4			将横向侧孔改为竖向侧孔，避免了侧向抽芯机构

有的塑件内侧或外侧凹凸形状较浅并带有圆角（或梯形斜面）时，如图 3－2(a)(b)所示(A－B)/B≤5%或(A－B)/C≤5%可采用强制脱模方式脱出塑件。如聚乙烯、聚丙烯、聚甲醛等塑料的制件，当凹凸不超过 5%时即可强制脱模。

2. 壁　厚

塑料制件的壁厚对塑件的质量影响很大。壁厚过小，成型时流动阻力大，大型复杂塑件难以充满型腔，塑件的强度和刚度难以保证；壁厚过大，不但浪费材料，而且增加了热固性塑料的受热固化和热塑性塑料的冷却硬化时间，使生产效率大大降低。此外，壁厚过大也易产生气泡、缩孔和翘曲等缺陷，从而影响塑件质量。

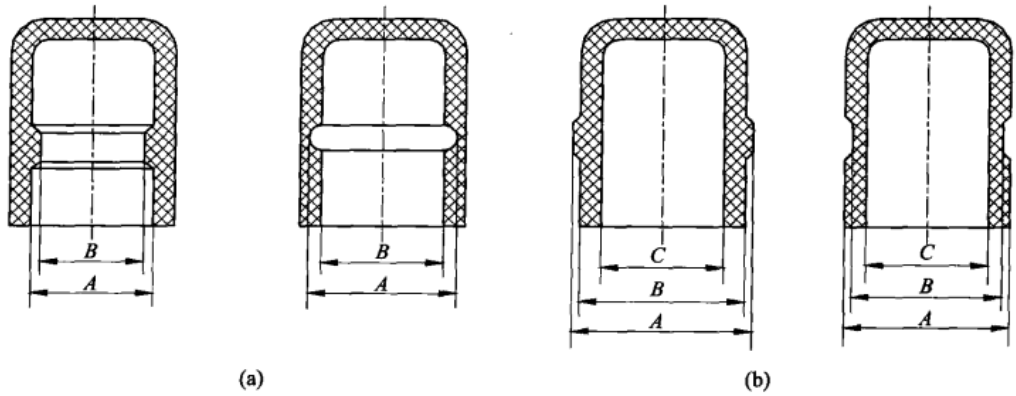


图 3-2　可强制脱模的侧向凹凸

热固性塑料的小型塑件，一般壁厚取 1.5～2.5 mm；大型塑件的壁厚取 3～8 mm。热塑性塑料易于成型薄壁塑件，最薄可达 0.25 mm，但一般不宜小于 0.6～0.9 mm，通常选取 2～4 mm。设计时可参阅常用热塑性塑料和热固性塑料壁厚推荐值。

同一塑件壁厚应尽可能均匀一致，否则会因冷却硬化或固化速度不均而产生内应力，影响塑件的质量。对于壁厚不均匀的塑件结构，可加以改进。图 3-3(a)所示为壁厚不合理的塑件，图 3-3(b)所示为壁厚得到改善的塑料。

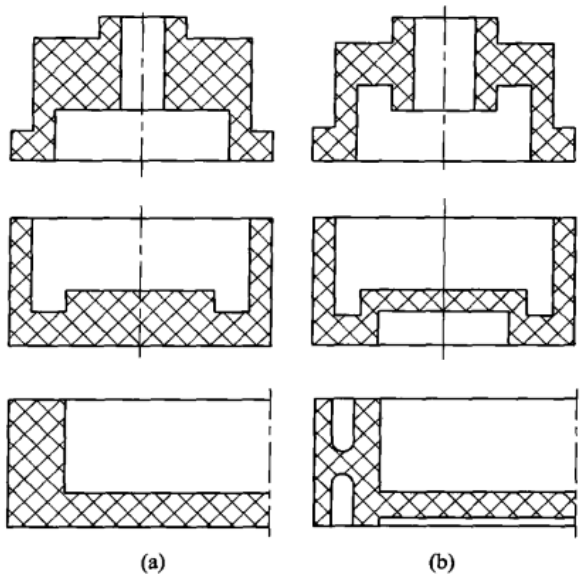


图 3-3　塑件壁厚不均的改善

3. 斜　度

塑件在模具型腔中冷却收缩，会紧紧包住模具型芯或型腔中凸出部分，为了使塑件易于从模具内脱出，必须在塑件内外表面沿脱模方向设计足够的脱模斜度，如图 3-4 所示。斜度的大小与塑料的收缩率、塑件的形状、结构、壁厚及成型工艺条件都有关系，脱模斜度一般取为30′～ 1°30′。

4. 加强筋

在塑件的适当位置上设置加强筋，可实现在不增加塑件壁厚的情况下，提高塑件的强度和刚度，避免气泡、缩孔、凹痕和翘曲变形等缺陷，沿着料流方向的加强筋还能降低塑料的充模阻力。图 3－5(b)所示为采用加强筋来增加塑件的强度，避免了因壁厚不均匀而产生缩孔的情况(图 3－5(a))。平板塑件加强筋的布置图 3－6(b)比图 3－6(a)合理，加强筋与料流方向平行，降低了塑料的充模阻力。

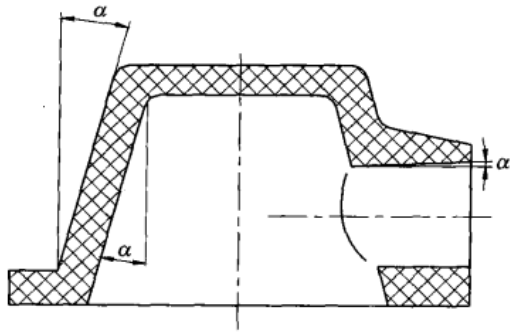


图 3－4　塑件的脱模斜度

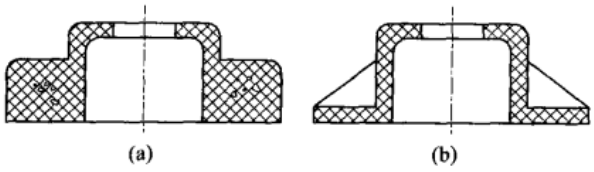


图 3－5　采用加强筋改善壁厚

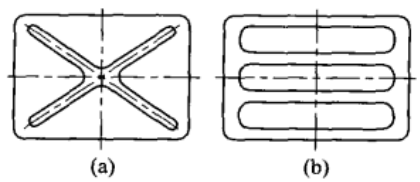


图 3－6　加强筋的布置

对于图 3－7 所示的薄壁塑件，容器的盖可设计成球面(图 3－7(a))，容器的底可设计成拱形曲面(图 3－7(b))，容器的边缘设计成图 3－7(c)所示的形状。这都可以有效地增加刚性和减小变形。

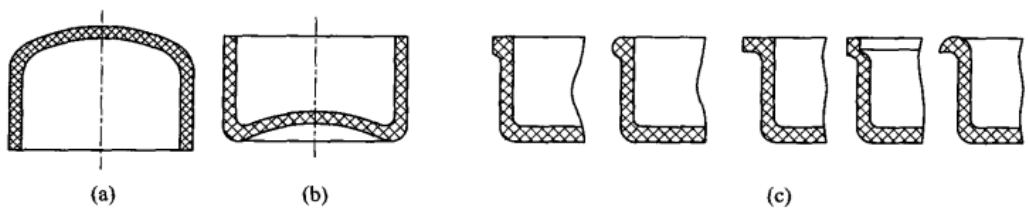


图 3－7　薄壁塑件的设计

5. 支承面

以塑件的整个底面作为支承面是不合理的(图 3－8(a))，塑件稍有翘曲或变形就会造成底面的不平。通常采用凸出的边框或凸出的底脚(3 点或 4 点)来作支承面，如图 3－8(b)和图 3－8(c)所示。当塑件底部有加强筋时，应使加强筋与支承面至少相差 0.5 mm 的高度，如图 3－8(d)所示。

6. 圆　角

塑件除了使用上要求必须采用尖角之外，其余转角处均应尽可能采用圆弧过渡。采用圆弧过渡不仅避免了应力集中，提高了强度，而且还增加了塑件的美观程度，大大改善了塑料的充模流动特性。另外，相应的带圆角的模具在热处理或使用时，不会因应力集中而导致开裂。圆角半径一般不应小于 0.5 mm，塑件内壁圆角半径可取壁厚的一半，外壁圆角半径可取壁厚的 1.5 倍，壁厚不等的两壁转角可按平均壁厚确定内、外圆角的半径。

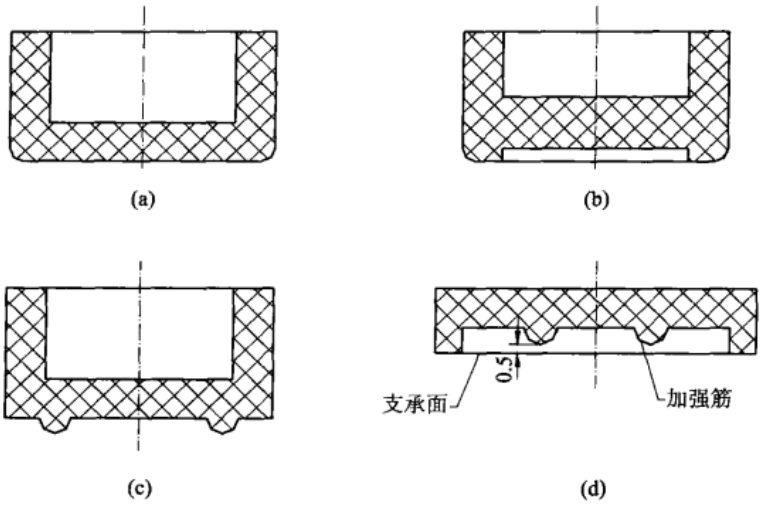


图 3-8　支承面的结构形式

7. 孔

塑件上常见的孔有通孔、盲孔、异形孔和螺纹孔等。孔的位置应开设在不减弱塑件强度的部位，在孔与孔之间、孔与边缘之间应留有足够的距离，一般应大于孔径。塑件上固定用孔和其他受力孔的周围可设计出凸边或凸台来加强，如图 3-9 所示。

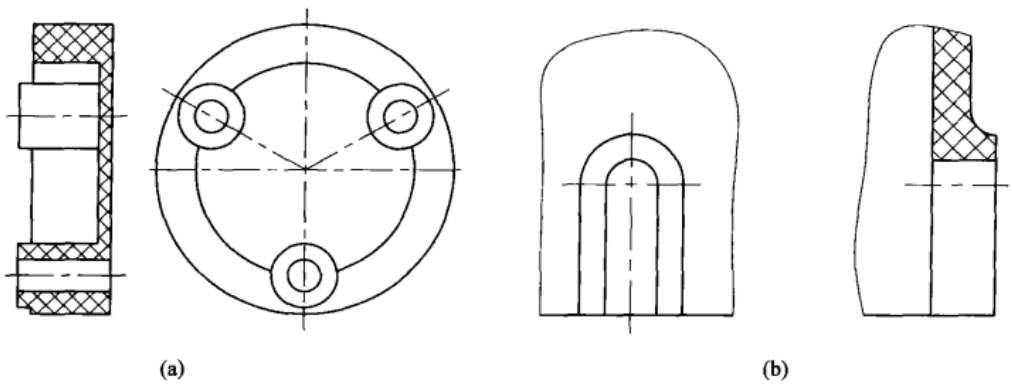


图 3-9　孔的加强

(1) 通　孔

通孔不宜设计得太深，否则型芯的刚度和孔的同轴度不易保证。通孔成型常用以下几种方法，如图 3-10 所示。图 3-10(a)结构简单，但会出现不易修整的横向飞边，且当孔较深或孔径较小时易弯曲；图 3-10(b)由两端分别固定一个型芯来成型，并使其中一个型芯径向尺寸比另一个大 0.5～1 mm，这样即使稍有不同心，也能保证安装和使用，此法型芯长度缩短，稳定性增加，适用于孔较深且直径要求不高的场合；图 3-10(c)型芯一端固定，一端支撑，此法使型芯有较好的刚度和强度，又能保证同轴度，飞边易修整。

(2) 盲　孔

盲孔是用一端固定的型芯来成型，故孔的深度应浅于通孔。注射或压注成型时，孔深应不超过孔径的 4 倍；压缩成型时，平行于压制方向的孔深一般不超过直径的 2.5 倍，垂直于压制

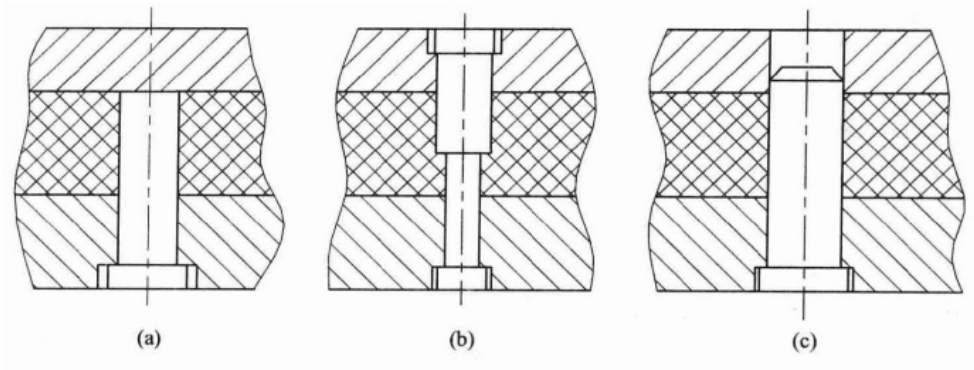


图 3-10　通孔的成型方法

方向的孔深不超过直径的 2 倍。

(3) 异形孔

异形孔的成型常常采用拼合型芯的方法，这样可以简化模具的设计，图 3-11 为典型的例子。

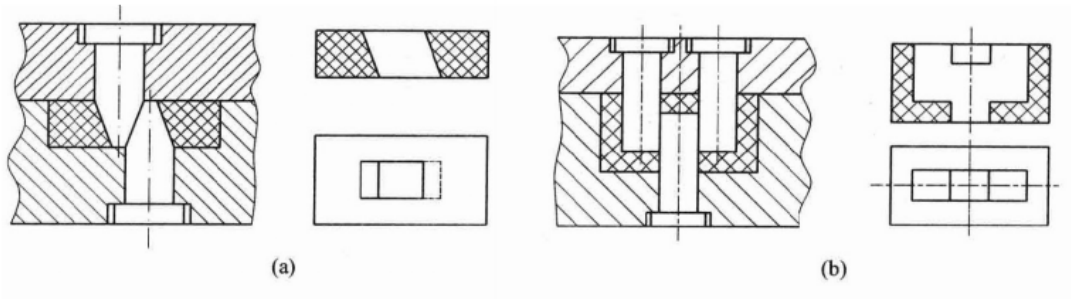


图 3-11　拼合型芯成型异形孔

8. 标记、符号及文字

塑件上的标记、符号及文字有凸形、凹形和凹坑凸形 3 种结构形式。图 3-12(a)为凸形的结构形式，在模具上即为凹形，制模比较容易，但使用过程中凸形的标记、符号或文字易磨损；图 3-12(b)为凹形的结构形式，在模具上即为凸形，模具制造麻烦；图 3-12(c)为凹坑凸形的结构形式，这种形式无论是在研磨、抛光或是使用时都不易损坏，制造时可采用镶块，在镶块中加工凹形，再镶入模体中，制造方便。

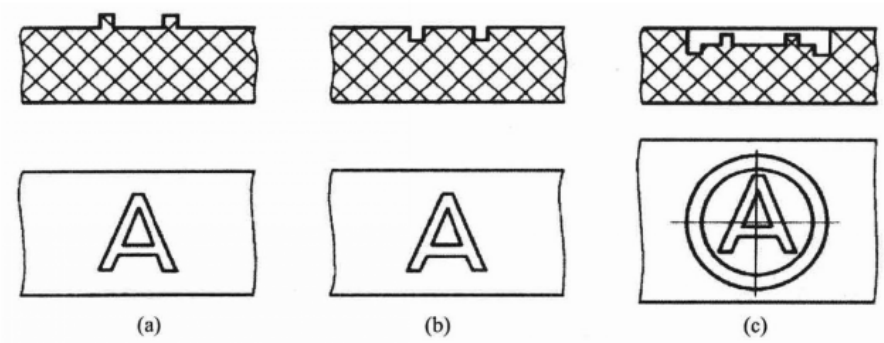


图 3-12　塑件上的标记、符号和文字

3.2.3 螺纹的设计

塑件上的螺纹既可以用模具成型，也可以成型后由机械加工获得，对于经常拆装或受力较大的螺纹，则应采用金属螺纹嵌件。设计塑件上的螺纹应考虑以下几个方面：

① 塑件上的螺纹应选用螺牙尺寸较大的，螺纹直径较小时不宜采用细牙螺纹，否则会影响其使用强度。

② 塑料螺纹不能达到很高的精度，一般低于 3 级。

③ 塑件上螺纹的直径不宜过小，一般螺纹外径不宜小于 4 mm，内径不宜小于 2 mm。

④ 若模具上螺纹的螺距未考虑收缩率，则塑件螺纹与金属螺纹的配合长度不能太长，一般不大于螺纹直径的 1.5 倍。

⑤ 为防止螺纹最外圈崩裂或变形，应使其始末两端各留有一台阶，如图 3-13 所示。同时，始末两端不能突然开始和结束，必须有一个过渡段 l，其数值可按表 3-4 选取。

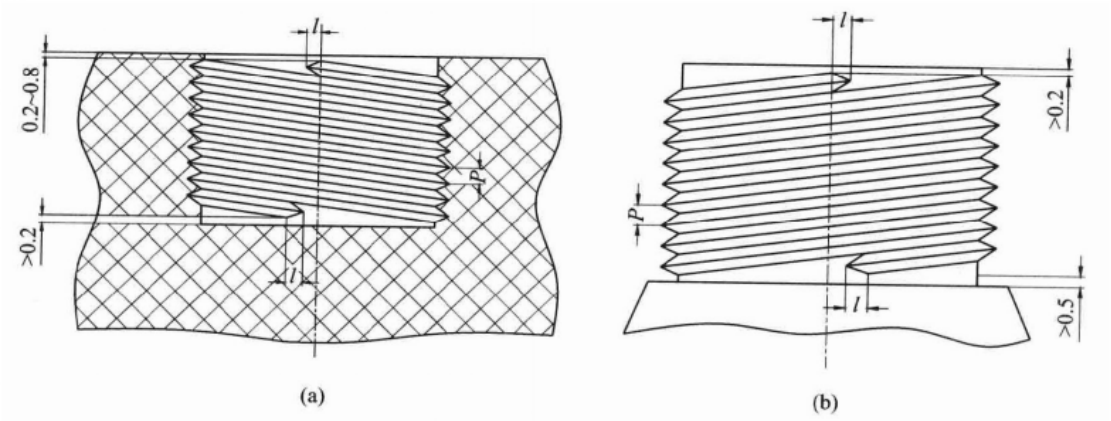


图 3-13 塑料内、外螺纹的结构形状

表 3-4 塑件上螺纹始末端的过滤长度

螺纹直径/mm	螺距 P/mm		
	<0.5	0.5~1	>1
	始末端过渡长度 l/mm		
≤10	1	2	3
>10~20	2	3	4
>20~34	2	4	6
>34~52	3	6	8
>52	3	8	10

注：始末端的过渡长度相当于车制金属螺纹型芯或型腔的退刀长度。

⑥ 在同一型芯或型环上有前后两段螺纹时，应使两段螺纹的旋向相同，螺距相等，才可使塑件从型芯或型环上旋下来，如图 3-14(a)所示；若螺距不等或旋向不同时，则要采用两段型芯或型环组合在一起，成型后分别旋下来，如图 3-14(b)所示。

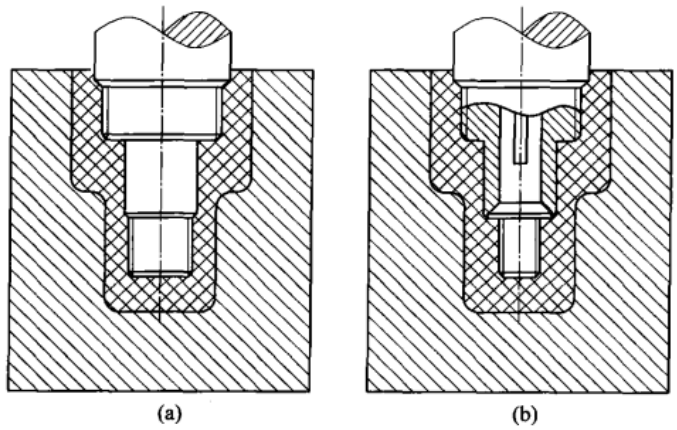


图 3－14　两段同轴螺纹的设计

3.2.4　齿轮的设计

塑料齿轮目前主要用于精度和强度要求不太高的传动机构，塑料齿轮常用的塑料有尼龙、聚碳酸酯、聚甲醛和聚砜等。为使塑料齿轮适应注射成型工艺，对齿轮各部分尺寸有如下一些要求(图 3－15)：轮缘宽度 t_1 至少应为全齿高的 3 倍；辐板厚度 H_1 应不大于齿宽 H；轮毂厚度 H_2 应不大于齿宽 H，并相当于轴孔直径 D_1；轮毂外径 D 最小应为轴孔直径 D 的 1.5～3 倍。

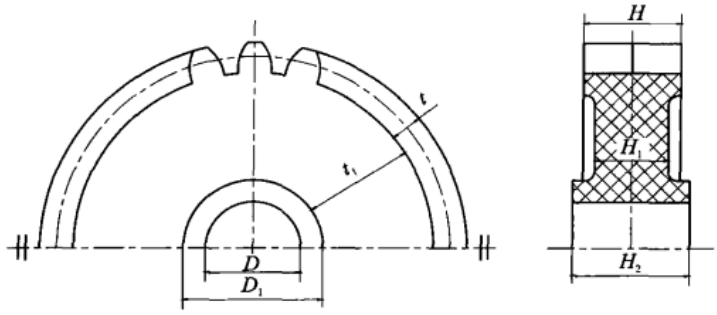


图 3－15　齿轮的各部分尺寸

为了减少尖角处的应力集中及成型时应力的影响，塑料齿轮应尽量避免截面的突然变化，圆角和过滤圆弧的半径尽可能加大。为避免装配时产生内应力，轴与孔的配合最好不采用过盈配合，而采用过滤配合。

3.2.5　带嵌件塑件的设计

在成型时嵌入在塑件内的其他零件，并形成不可拆卸的连接，嵌入的零件称为嵌件。嵌件最常用的材料是金属，也有玻璃、木材、已成型的塑件等非金属材料。

塑件中镶入嵌件能够提高塑件局部的强度、硬度、耐磨性、导电性和导磁性等，也可以增加塑件的尺寸和形状的稳定性，降低塑料材料的消耗。常见的嵌件如图 3－16 所示。

金属嵌件设计的要求：

① 嵌件与塑料必须牢固连接　为防止嵌件使用时在塑件内转动或脱出，嵌件表面必须设

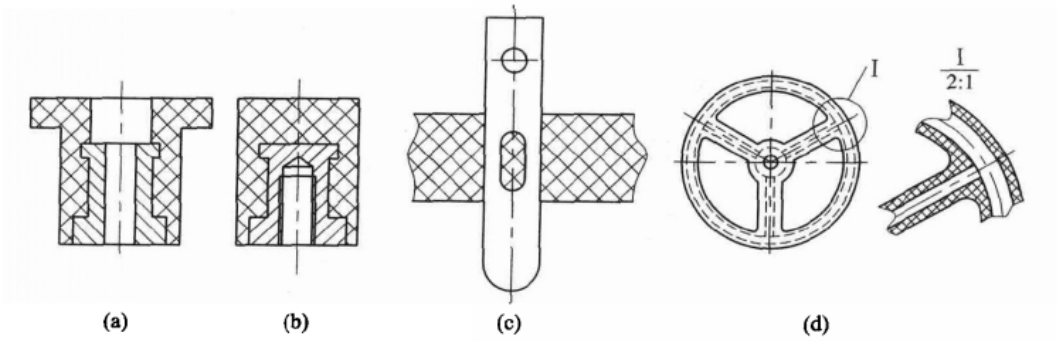


图 3-16　常见嵌件的形式

计有适当的起伏形状，如开沟槽、滚花和折弯等。

② 嵌件在模具内应可靠定位　模具中嵌件在成型时受高压熔体的冲击，可能移位或变形，同时熔体还可能挤入嵌件上预制的孔或螺纹线中，影响嵌件使用，因此嵌件要可靠定位，嵌件的高度不宜超过其定位部分直径的 2 倍。

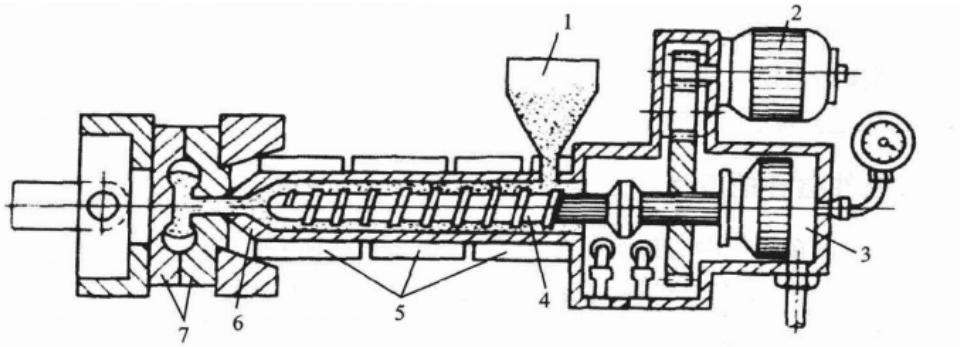
③ 嵌件周围塑料层应有足够的厚度　由于金属嵌件冷却时尺寸变化与塑料的热收缩值相差很大，导致嵌件周围产生较大的内应力，可能会造成塑件的开裂。保证嵌件周围足够的塑件层厚度是防止塑件开裂的一个很有效的方法。

3.3　注射模设计

3.3.1　注射成型原理及工艺

1. 注射成型原理

注射成型又称注塑成型，是塑料成型的一种重要方法，主要适用于热塑性塑料成型。注射成型原理如图 3-17 所示（以螺杆式注射机为例），将加入到料斗 1 中的粉料或粒料送入注射机的料筒中，经过加热和旋转的螺杆对塑料的剪切摩擦作用而逐渐塑化，并在转动着的螺杆的作用下不断输送至料筒前端的喷嘴附近，螺杆的转动使塑料塑化得更加均匀。当料筒前端的



1—料斗；2—传动装置；3—注射油缸；4—螺杆；5—加热器；6—喷嘴；7—模具

图 3-17　螺杆式注射机注射成型原理

熔料堆积形成的压力，达到能够克服注射液压缸活塞退回的阻力时，螺杆在转动的同时，逐步向后退回，当螺杆退到预定位置时，即停止转动和后退，然后注射液压缸开始工作，带动螺杆按一定的压力和速度，将熔体经喷嘴注入模具型腔，保压一定时间并冷却成型，便可获得模具型腔赋予的形状和尺寸。开合模机构将模具打开，在推出机构的作用下取出塑件，即完成一个工作循环。

2. 注射成型工艺过程

注射成型工艺过程包括成型前的准备、注射过程和塑件的后处理。

(1) 成型前的准备

在注射成型前准备工作主要有：对原料外观和工艺性能的检验，预热和干燥处理；注射机料筒的清洗或更换；对于脱模困难的塑件，合理选用脱模剂；嵌件的预热，有的模具也需要预热。

(2) 注射过程

注射过程是塑料转变成塑件的主要阶段。它包括加料、塑化、注射、保压、冷却定型和脱模等几个阶段。

(3) 塑件的后处理

后处理能够消除塑件存在的一些内应力，并可改善塑件的性能，提高尺寸的稳定性。塑件的后处理包括退火和调湿处理。退火处理是使塑件在定温的加热液体介质(如热水、热矿物油和液体石蜡等)或热空气循环烘箱中静置一段时间，然后缓慢冷却。其目的是消除塑件的内应力，稳定尺寸。调湿处理是将刚脱模的塑件放在热水中，以隔绝空气，防止塑件氧化，并加快达到吸湿平衡的一种处理方法。其目的是使塑件的颜色和尺寸达到稳定，性能得到改善。

3. 注射成型工艺条件

注射成型工艺条件中最主要的因素是温度、压力和时间。

(1) 温　度

注射成型过程需要控制的温度主要有料筒温度、喷嘴温度和模具温度。

1) 料筒温度

料筒温度的选择与塑料的品种、特性有关。料筒温度过低，塑化不充分；料筒温度过高，则可能会使塑料过热分解。料筒的温度分布一般采用前高后低的原则，即料筒的后端温度低，靠近喷嘴处的前端温度高，以防塑料因剪切摩擦热而产生降解现象。

2) 喷嘴温度

喷嘴温度一般略低于料筒的最高温度，以防温度过高熔料在喷嘴处产生流涎现象。

3) 模具温度

模具温度对熔体的充模流动、冷却速度及成型后塑件的性能影响很大。模具温度的高低取决于塑料结晶性有无、塑件尺寸、结构和性能的要求以及其他工艺条件(如熔料温度、注射速度和注射压力)。

(2) 压　力

注射成型工艺过程中压力包括塑化压力和注射压力两种，它们直接影响塑料的塑化和塑件的质量。

塑化压力又称背压，是指采用螺杆式注射机时，螺杆头部熔料在螺杆转动后退时所受到的压力。一般在保证塑件质量的前提下，塑化压力越低越好。注射压力是指柱塞或螺杆头部对

塑料熔体所施加的压力。注射压力的大小取决于塑料品种、注射机类型、模具结构、塑件壁厚及其他工艺条件等。

(3) 时　间

完成一次注射成型过程所需的时间称为成型周期。它包括充模时间、保压时间、模内冷却时间和其他时间等，其他时间有开模、脱模、涂脱模剂、安放嵌件和合模等时间。

4. 注射成型的特点

注射成型具有成型周期短，生产效率高，能一次成型形状复杂、尺寸精确、带有金属或非金属嵌件的塑件，易于实现自动化生产，生产适应性强等特点。但注射成型所需设备昂贵，模具结构较复杂，制造成本高，不适合单件小批量塑件的生产。

3.3.2　注射模的结构组成及分类

1. 注射模的基本组成

注射模具的结构各不相同，但其基本结构都是由动模和定模两大部分组成，定模部分安装在注射机的固定模板上，动模部分安装在注射机的移动模板上，并可随移动模板的来回移动实现模具的开合。

注射模的结构如图 3－18 所示。根据注射模各个零部件所起的作用，可将模具分为以下几个组成部分：

(1) 成型零部件

成型零部件是指构成模具型腔、直接成型塑件的那部分零件，由凸模(型芯)、凹模和镶块等组成。凸模(型芯)成型塑件的内表面形状，凹模成型塑件的外表面形状。图 3－18 所示的定模板 8、动模板 9、型芯 3 等都是成型零部件。

(2) 浇注系统

浇注系统是指塑料由注射机喷嘴进入模具型腔所流经的通道，由主流道、分流道、浇口和冷料井等组成。

(3) 导向机构

导向机构是用于保证动、定模合模时准确对合。导向机构主要有导柱导向机构和在动、定模分别设置互相吻合的内外锥面导向。图 3－18 所示的导套 1 和导柱 2 构成了合模导向机构。此外，有的注射模的推出机构也设有导柱导向机构。

(4) 支承零部件

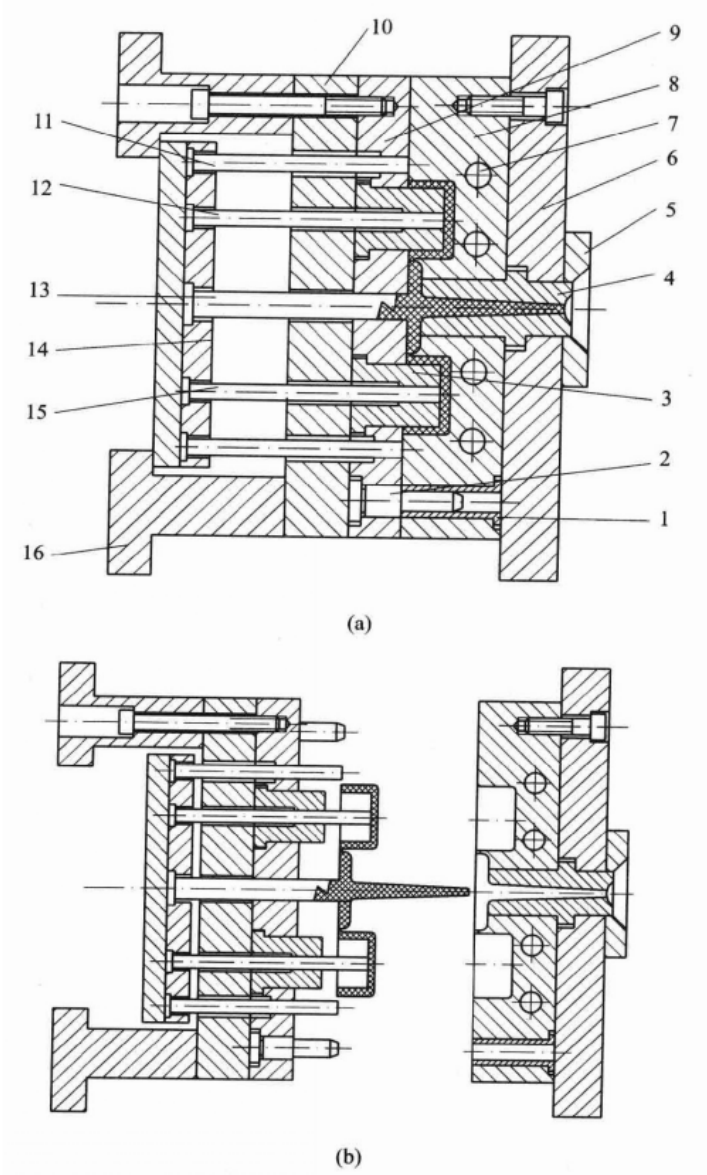
支承零部件是用来安装固定或支承成型零部件以及模具上其他零部件的，与导向机构组合构成模架。图 3－18 所示的定模座板 6、支承板 10、模脚 16 等均为支承零部件。

(5) 推出机构

推出机构是将成型后的塑件及浇注系统的凝料从模具中推出的装置，由推杆、推杆固定板、推板、拉料杆、复位杆、推板导柱和推板导套等组成。图 3－18 中的推出机构由复位杆 11、推杆 12、拉料杆 13、推杆固定板 14、推杆 15 等零件组成。

(6) 侧向分型与抽芯机构

当塑件带有侧凹、侧凸或侧孔时，开模推出塑件之前，必须将成型侧凹、侧凸或侧孔的型芯或瓣合模块从塑件上脱开或抽出，合模时又须将其复位。实现这一功能的装置便是侧向分型与抽芯机构。



1—导套；2—导柱；3—型芯；4—主流道衬套；5—定位圈；6—定模座板；7—冷却水道；8—定模板；9—动模板；10—支承板；11—复位杆；12—推杆；13—拉料杆；14—推杆固定板；15—推杆；16—模脚

图 3－18　注射模的结构

(7) 温度调节系统

为了满足注射工艺对模温的要求，模具常常设有加热或冷却系统。图 3－18 所示的模具冷却系统开设了冷却水道 7。

(8) 排气系统

在注射成型过程中，为了将型腔内的气体排出模外，常常需要开设排气系统。常用的方法是在分型面上开设排气沟槽，也可以利用推杆或活动型芯与模板之间的配合间隙来排气。小型模具可直接利用分型面来排气。

2. 注射模的分类

注射模具的种类很多。按所加工塑料的性质分类，可分为热塑性塑料注射模和热固性塑料注射模；按所用注射机的类型可分为卧式注射机用注射模、立式注射机用注射模和角式注射机用注射模；按模具型腔数目可分为单型腔注射模和多型腔注射模；按浇注系统的结构形式可分为普通流道注射模和热流道注射模；按注射模具总体结构特征可分为单分型面注射模、双分型面注射模、侧向分型抽芯注射模、带有活动镶件的注射模、定模设推出装置的注射模和自动卸螺纹注射模等。

3.3.3 注射模典型结构

1. 单分型面注射模

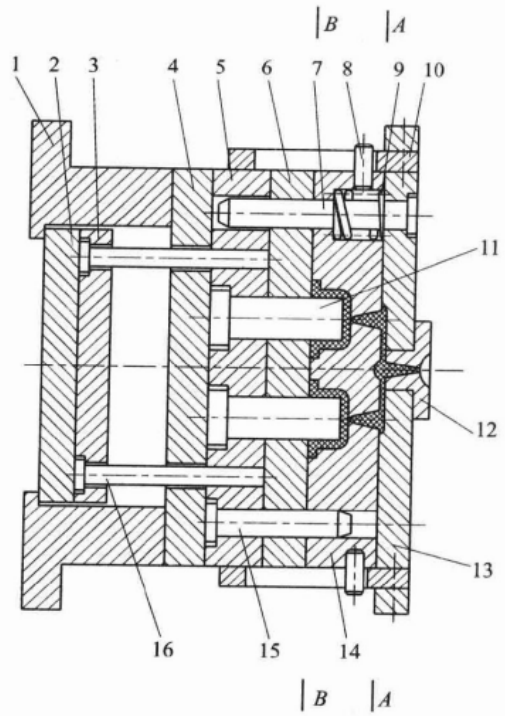
单分型面注射模又称双板式注射模，是注射模中最简单、最常用的一种结构形式，只有一个分型面，其典型结构如图 3－18 所示。

工作原理如下：合模时，在导向机构引导下，注射机的合模系统带动动模部分向前移动，使模具闭合，并在注射机提供的锁模力作用下，动、定模紧密贴合；注射时，塑料熔体经模具浇注系统进入型腔，充满型腔后经保压、补缩和冷却定型等过程后开模，如图 3－18(a)所示；开模时，注射机开合模系统带动动模向后移动，模具从动、定模分型面打开，塑件包在型芯 3 上随动模一起后移，同时拉料杆 13 将浇注系统的凝料拉向动模一侧；当模具的推出机构碰到注射机的顶出装置时，动模继续后退，推出机构停止不动，推杆 12 和拉料杆 13 分别将塑件及浇注系统的凝料从型芯 3 和冷料井中推出，如图 3－18(b)所示，从而完成一次注射过程。再合模时，复位杆 11 使推出机构复位，模具准备下一次注射。

2. 双分型面注射模

双分型面注射模具有 2 个分型面，浇注系统和塑件由不同的分型面取出，也叫三板式注射模，如图 3－19 所示。它与单分型面注射模相比，在动模和定模之间增加了一个可移动的中间板(又称流道板)。这类模具结构复杂，主要用点浇口浇注系统的注射模、侧向分型抽芯机构设在定模一侧的注射模以及因塑件结构特殊需要顺序分型的注射模。

工作原理如下：合模及注射过程同单分型面注射模相同。开模时，动模部分后移，由于弹簧 9 的作用，使中间板 14 随动模一起后移，模具首先在 $A—A$ 分型面分型，主流道凝料随之拉出。当动模部分移动到一定距离后，固定在中间板 14 上的限位销 8 与定距拉板 10 左端接触，中间板 14 停止移动，$A—A$ 分型面分型结束。动模继续后移，$B—B$ 分型面开始分型。由于塑件包紧在型



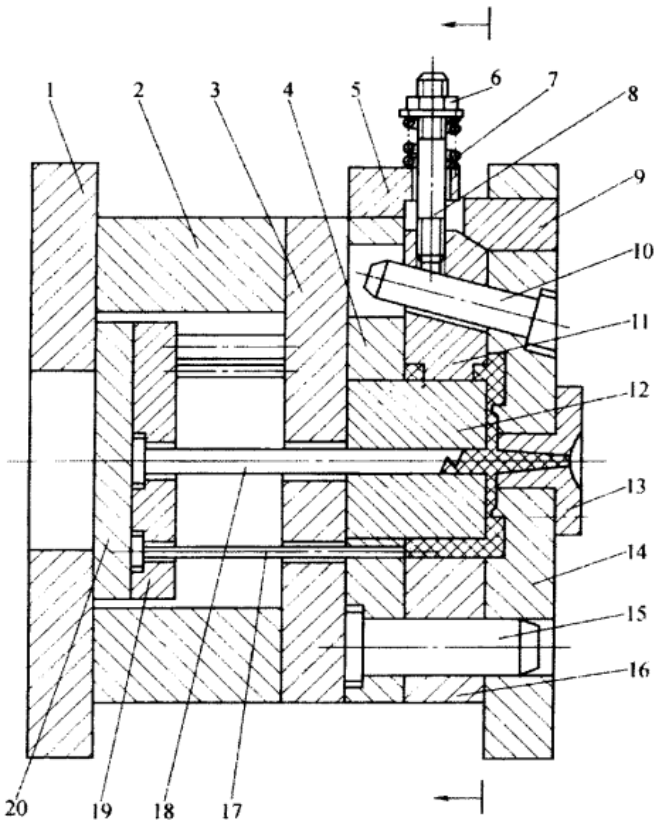
1—模脚；2—推板；3—推杆固定板；4—支承板；5—动模板；6—推件板；7、15—导柱；8—限位销；9—弹簧；10—定距拉板；11—型芯；12—主流道衬套；13—定模座板；14—中间板；16—推杆

图 3－19 双分型面注射模

芯 11 上，浇注系统的凝料在浇口处与塑件分离，然后在 $A—A$ 分型面自行脱落或由人工取出。动模继续后移，当注射机的顶杆接触推板 2 时，推出机构开始工作，推件板 6 在推杆 16 的推动下将塑件从型芯 11 上推出，塑件在 $B—B$ 分型面自行落下。

3. 侧向分型抽芯注射模

当塑件带有侧凹、侧凸或侧孔时，在注射模里设有斜导柱或斜滑块等侧向分型抽芯机构，此类模具称为侧向分型抽芯注射模。图 3－20 所示为斜导柱侧向抽芯注射模。



1—动模座板；2—垫块；3—支承板；4—动模板；5—限位挡块；6—螺母；7—弹簧；8—滑块拉杆；9—楔紧块；10—斜导柱；11—侧型芯滑块；12—型芯；13—主流道衬套；14—定模座板；15—导柱；16—定模板；17—推杆；18—拉料杆；19—推杆固定板；20—推板

图 3－20　斜导柱侧向抽芯注射模

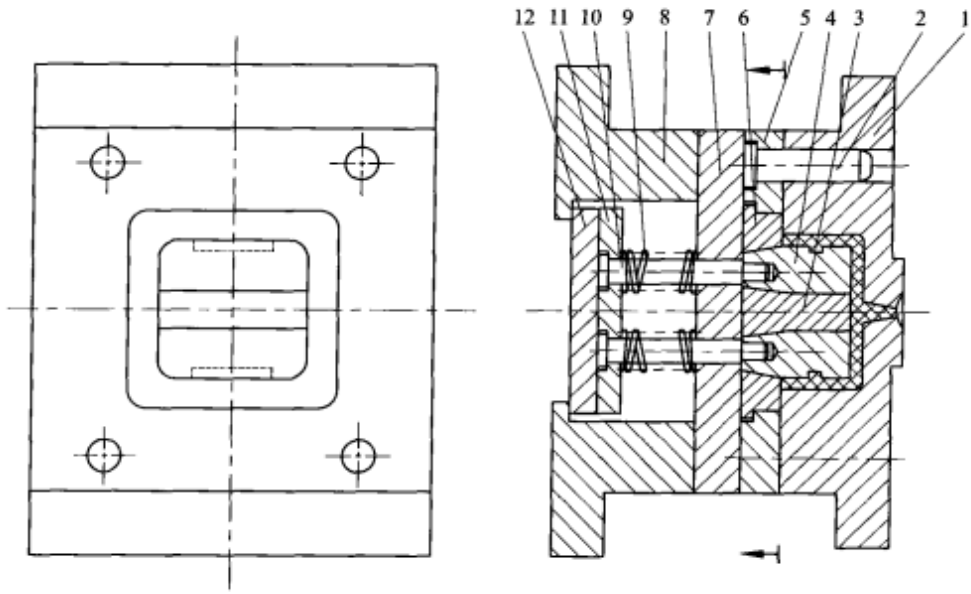
工作原理如下：开模时，由于斜导柱 10 的限制作用，迫使侧型芯滑块 11 随动模向后移动时，会在动模板 4 的导滑槽内向外侧滑动，直至滑块与塑件完全脱开，完成侧向抽芯，滑块则由定位装置限制在挡块 5 上，塑件则包紧在型芯 12 上随动模继续后移，直至注射机顶杆与模具推板 20 接触，推出机构开始工作，推杆将塑件从型芯上推出。合模时，复位杆使推出机构复位，斜导柱 10 使侧型芯滑块 11 向内移动复位，最后由楔紧块 9 锁紧。

4. 带有活动镶件的注射模

有些塑件带有内侧凸、内侧凹或螺纹孔等结构，这种结构的塑件成型时，模具无法用侧向抽芯机构来实现脱模。为简化模具结构，可以在型腔的局部设置活动镶件。脱模时这些活动镶件随塑件一起被推出模外，然后通过手工或用专门的工具将它与塑件分离，在下一次合模之

前再重新将活动镶件放入模内。图 3－21 所示为带有活动镶件的注射模，成型带有内侧凸的塑件。

工作原理如下：开模时，包在型芯和活动镶件上的塑件和浇注系统凝料一起随动模部分向后移。当移动到一定距离后，推出机构开始工作，推杆将活动镶件连同塑件一起推出模外，由人工将活动镶件与塑件分离。合模时，推出机构在弹簧的作用下先行自动复位，然后人工将活动镶件安放到模具内合模，进行下一次注射成型。



1—定模板；2—导柱；3—型芯；4—活动镶件；5—动模板；6—型芯座；7—支承板；8—模脚；9—弹簧；10—推杆；11—推杆固定板；12—推板

图 3－21　带有活动镶件的注射模

5. 定模设推出装置的注射模

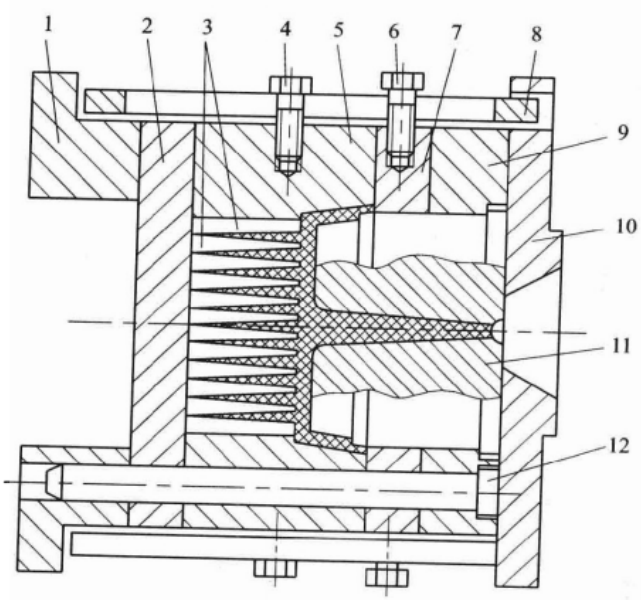
一般注射模脱模时，塑件均留在动模一侧，但有时因塑件的特殊要求或受塑件形状的限制，脱模时塑件留在定模上或有可能留在定模上，则应在定模一侧设置推出机构。图 3－22 所示为定模设推出装置的注射模，成型形状特殊的塑料衣刷。

工作原理如下：开模时，动模部分后移，同时动模板 5 上的拉板固紧螺钉 4 也带动拉板 8 一起后移，塑件留在定模一侧。当移动到拉板 8 与固定在推件板 7 上的螺钉 6 接触时，推件板 7 将塑件从型芯 11 上推出。

6. 自动卸螺纹注射模

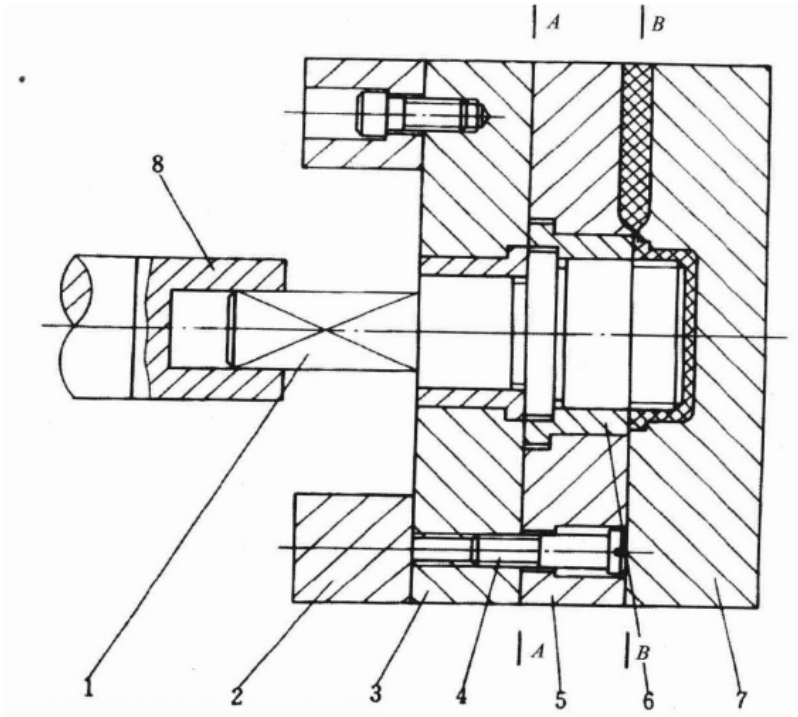
对带有内螺纹或外螺纹的塑件要求自动脱模时，可以在模具中设有能转动的螺纹型芯或型环，利用注射机的旋转运动或往复运动，将塑件脱出。图 3－23 所示为在角式注射机上设有自动卸螺纹的注射模。

工作原理如下：开模时，注射模从 $A—A$ 分型面分型，同时螺纹型芯随着注射机开合模丝杆边自动旋转边后退。此时，塑件仍留在型腔内不动，当 $A—A$ 分型面分开一定距离，螺纹型芯在塑件内还有最后一扣或半扣时，定距螺钉拉动动模板使 $B—B$ 分型面分型，塑件即被带出型腔，并与螺纹型芯也脱离。



1—模脚；2—支承板；3—成型镶片；4—拉板固紧螺钉；5—动模板；6—螺钉；7—推件板；8—拉板；9—定模板；10—定模座板；11—型芯；12—导柱

图 3－22　定模设推出装置的注射模



1—螺纹型芯；2—支架；3—支承板；4—定距螺钉；5—动模板；6—衬套；7—定模座板；8—注射机开合模丝杆

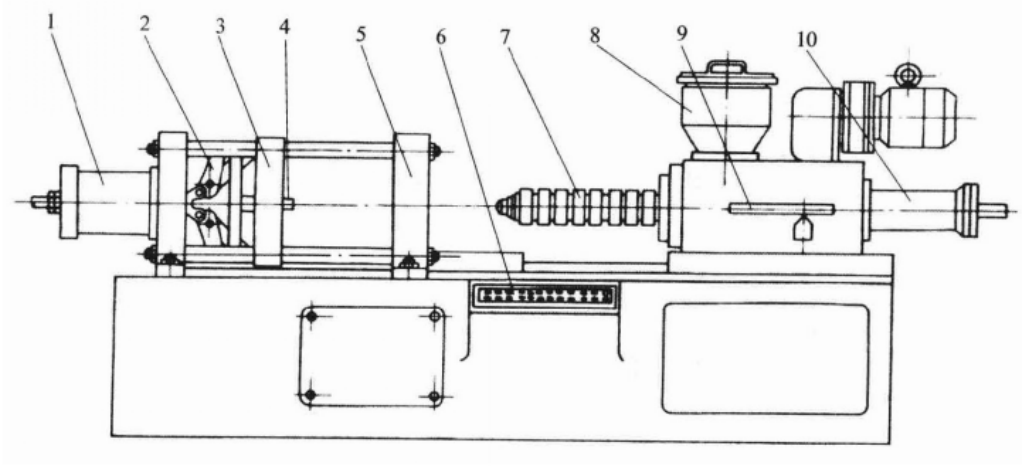
图 3－23　自动卸螺纹注射模

3.3.4 注射模与注射机的关系

注射模具必须安装在相应的注射机上才能进行工作。因此，在设计注射模时，必须考虑所选用的注射机的技术参数，如注射机的最大注射量、锁模力、注射压力、模具最大和最小厚度、最大开模行程、拉杆间距、定位孔尺寸和喷嘴尺寸等，以使设计的模具与所选注射机相适应。

1. 注射机简介

注射机是注射模塑的成型设备，如图 3－24 所示，主要由注射装置、合模装置、电气控制系统、液压传动系统和机架等组成。



1—锁模液压缸；2—锁模机构；3—移动模板；4—顶杆；5—固定模板；6—控制台；7—料筒及加热器；8—料斗；9—定量供料装置；10—注射液压缸

图 3－24 注射机的结构组成

根据注射机外形结构特征，可将注射机分为卧式、立式和角式 3 种，其中卧式注射机最为常用。

（1）卧式注射机

卧式注射机如图 3－24 所示，注射装置与合模装置的轴线重合，并与设备安装底面平行。优点是质心低，操作维修方便，塑件推出后可自行下落，便于实现自动化生产。缺点是模具的装拆及嵌件安放不方便，且设备占地面积较大。常用的卧式注射机型号有：XS－ZY－30，XS－ZY－60，XS－ZY－125，XS－ZY－500，XS－ZY－1000，XS－Z－60 等。其中：XS——塑料成型机械，Z——注射成型，Y——螺杆式（无 Y 表示柱塞式），30，60 等数字——最大注射量（cm^3 或 g）。也有用合模力或合模力与注射量来表示注射机的主参数。

（2）立式注射机

注射装置与合模装置的轴线重合，并与设备安装底面垂直。优点是占地面积小，模具装拆方便，安放嵌件和活动型芯简便可靠。缺点是质心高，不够稳定，加料不太方便，塑件推出后要人工取出，不易实现自动化生产。多用于注射量小于 60 cm^3 的多嵌件塑件成型。

（3）角式注射机

注射装置与合模装置的轴线相互垂直。常见的角式注射机是沿水平方向合模，沿垂直方向注射。其特点是注射机的结构形式兼顾卧式和立式注射机的某些优缺点，占地面积介于二

者之间，适用于生产形状不对称的塑件、带螺纹的塑件及使用侧浇口的模具。

表 3－5 是常用国产注射机的规格和性能，供模具设计时参考。

表 3－5　常用国产注射机的规格和性能

项目 \ 型号			XS－Z－30	XS－Z－60	XS－ZY－125	XS－ZY－250	XS－ZY－500	XS－ZY－1000	XS－ZY－4000
注射量/cm^3			30	60	125	250	500	1 000	4 000
螺杆(柱塞)直径/mm			28	38	42	50	65	85	130
注射压力/MPa			119	122	119	130	104	121	106
注射行程/mm			130	170	115	160	200	260	370
注射时间/s			0.7	2.9	1.6	2	2.7	3	6
螺杆转速/(r·min^{-1})			—	—	29,43,56,69,86,101	25,31,39,58,32,89	20,25,32,38,42,50,63,80	21,27,35,40,45,50,65,83	16,20,32,41,51,74
注射方式			柱塞	柱塞	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式
锁模力/kN			250	500	900	1 800	3 500	4 500	10 000
最大成型面积/cm^2			90	130	320	500	1 000	1 800	3 800
模板最大行程/mm			160	180	300	500	500	700	1 100
模具厚度/mm		最大	180	200	300	350	450	700	1 000
		最小	60	70	200	200	300	300	700
拉杆空间/mm			235	190×300	260×290	448×370	540×440	650×550	1 050×950
模板尺寸/mm			250×280	330×440	428×450	598×520	700×850	—	—
锁模方式			液压-机械	液压-机械	液压-机械	液压-机械	液压-机械	稳压式	稳压式
油泵	流量/(L·min^{-1})		50	70,12	100,12	180,12	200,25	200,18,18	50,50
	压力/MPa		6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	14	20
电动机功率/ kW			5.5	11	10	18.5	22	40,5.5,5.5	17,17
螺杆驱动功率/kW			—	—	－4	5.5	7.5	13	30
加热功率/ kW			1.75	2.7	5	9.83	14	16.5	37
机器外形尺寸/(m·m·m)			2.34×0.8×1.46	3.61×0.85×1.55	3.34×0.75×1.55	4.7×1.0×1.815	6.5×1.3×2.0	7.67×1.74×2.38	11.5×3.0×4.5
机器重量/kg			900	2 000	3 500	4 500	12 000	20 000	65 000
模具定位孔尺寸/mm			$\phi63.5^{+0.064}_{0}$	$\phi55^{+0.06}_{0}$	$\phi100^{+0.054}_{0}$	$\phi125^{+0.06}_{0}$	$\phi150^{+0.06}_{0}$	$\phi150^{+0.06}_{0}$	$\phi200^{+0.06}_{0}$
喷嘴球径/mm			*SR*12	*SR*12	*SR*12	*SR*18	*SR*18	*SR*18	*SR*18
喷嘴孔径/mm			$\phi4$	$\phi4$	$\phi4$	$\phi4$	$\phi5$	$\phi7.5$	$\phi7.5$
顶出	中心孔径/mm		—	$\phi50$	—	—	—	—	—
	两侧	孔径/mm	$\phi20$	—	$\phi22$	$\phi40$	$\phi24.5$	$\phi20$	—
		孔距/mm	170	—	230	280	530	850	—

2. 注射机有关参数的校核

(1) 最大注射量的校核

最大注射量是指注射机对空注射条件下，注射螺杆或柱塞作一次最大注射行程时，注射装置所能达到的最大注射量。柱塞式注射机的允许最大注射量是以一次注射聚苯乙烯的最大克数为标准的，而螺杆式注射机是以容积来表示最大注射量的，与塑料品种无关。

选择注射机时，应保证成型塑件所需的总注射量(包括浇注系统凝料)小于注射机的最大注射量，即

$$nV + V_j \leqslant kV_{max}\text{(最大注射量以容积来标定)} \tag{3-3}$$

$$nm + m_j \leqslant km_{max}\text{(最大注射量以质量来标定)} \tag{3-4}$$

式中：n——型腔数量；

V 和 m——分别为单个塑件的体积(cm^3)和质量(g)；

V_j 和 m_j——分别为浇注系统的体积(cm^3)和质量(g)；

V_{max} 和 m_{max}——分别为注射机的最大注射容积(cm^3)和最大注射质量(g)；

k——注射机最大注射量的利用系数，一般取 0.8。

(2) 注射压力的校核

塑件成型时所需的注射压力应不大于注射机的最大注射压力，即

$$P \leqslant P_{max} \tag{3-5}$$

式中：P_{max}——注射机的最大注射压力，MPa；

P——塑件成型时所需的注射压力，MPa。

塑件成型时所需的注射压力是由注射机的类型、喷嘴的形式、塑料的流动性、浇注系统及塑件的形状等因素决定的，一般为 60～140 MPa。设计时可根据经验估算成型时所需的注射压力，对于黏度较大、形状细薄和流程较长的塑件，注射压力应取大些。

(3) 锁模力的校核

当高压的塑料熔体充满模具型腔时，会产生使模具分型面涨开的力，这个力的大小等于塑件和浇注系统在分型面上的投影面积之和乘以型腔内的压力，它应小于注射机的额定锁模力 F，才能保证注射时不发生胀模现象，即

$$F_z = p(nA + A_1) < F \tag{3-6}$$

式中：n——型腔数量；

F_z——塑料熔体在分型面的涨开力，N；

p——型腔内的压力，MPa，一般为注射压力的 80%左右；

A——单个塑件在模具分型面上的投影面积，mm^2；

A_1——浇注系统在模具分型面上的投影面积，mm^2；

F——注射机的额定锁模力，N。

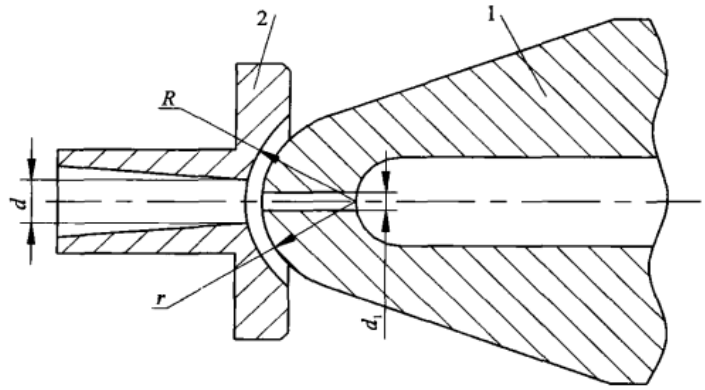
(4) 模具与注射机安装部分相关尺寸的校核

1) 喷嘴尺寸

注射机喷嘴前端球面半径 r 应比主流道衬套始端的球面半径 R 略小一些，以防止熔料从缝隙溢出；注射机喷嘴前端孔径 d_1 应比主流道衬套始端的孔径 d 也略小一些，以防止主流道口部积存凝料而影响脱模，如图 3-25 所示。一般应满足下列关系：

$$R = r + (2 \sim 3)\text{mm} \tag{3-7}$$

$$d = d_1 + (0.5 \sim 1)\text{mm} \tag{3-8}$$



1—注射机喷嘴；2—主流道衬套

图 3-25　主流道衬套与喷嘴关系

2）定位圈尺寸

为保证模具主流道中心线与注射机喷嘴中心线重合，模具定模板上的定位圈应与注射机固定模板上的定位孔采用间隙配合。

3）最大、最小模具厚度

模具设计时，模具的总厚度 H 必须在注射机允许安装的最大模具厚度 H_{max} 与最小模具厚度 H_{min} 之间，即满足下列关系：

$$H_{max} = H_{min} + \Delta H \tag{3-9}$$

$$H_{min} \leqslant H \leqslant H_{max} \tag{3-10}$$

式中：ΔH——注射机在模厚方向长度的调节量。

4）模具外形尺寸

图 3-26 为注射机模板及拉杆间距的尺寸。模板尺寸为 $L \times H$，拉杆间距为 $L_0 \times L_0$。模具的外形尺寸必须在注射机模板尺寸及拉杆间距尺寸规定范围之内。

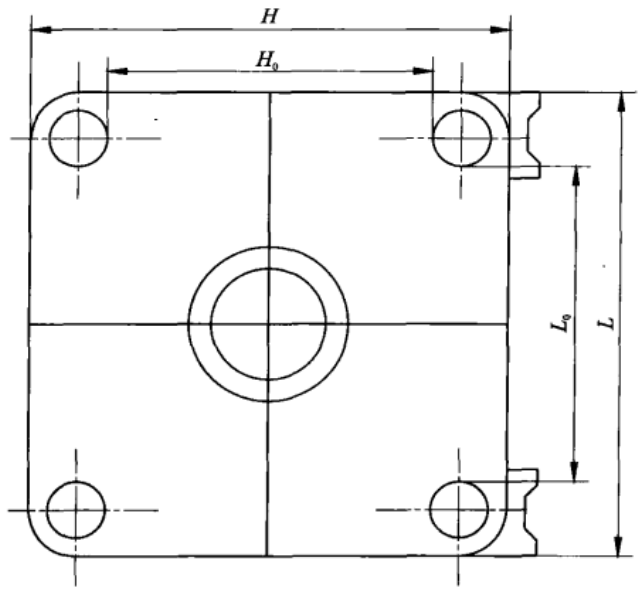


图 3-26　注射机模板及拉杆间距的尺寸

5）安装螺孔尺寸

模具在注射机上的安装方法有两种：一种是用螺钉直接固定，另一种是用压板固定。用螺钉直接固定，则要求模具动、定模座板与注射机移动模板、固定模板上的螺孔完全吻合；而用压板固定时，只要压板附近有螺孔即可。

（5）开模行程的校核

注射机的最大开模行程必须大于取塑件或有其他要求时所需分开模具的距离。开模行程的校核可分为下面几种情况：

1）注射机的最大开模行程与模具厚度无关的校核

对于液压和机械联合作用的锁模机构的注射机，最大开模行程是由连杆机构的冲程或其他机构的冲程所决定，不受模具厚度的影响。

① 对于单分型面注射模（图 3－27 所示），其开模行程可按下式校核：

$$S \geqslant H_1 + H_2 + (5 \sim 10)\ \text{mm} \tag{3-11}$$

式中：S——注射机最大开模行程（移动模板行程，mm）；

H_1——塑件脱模所需的推出距离，mm；

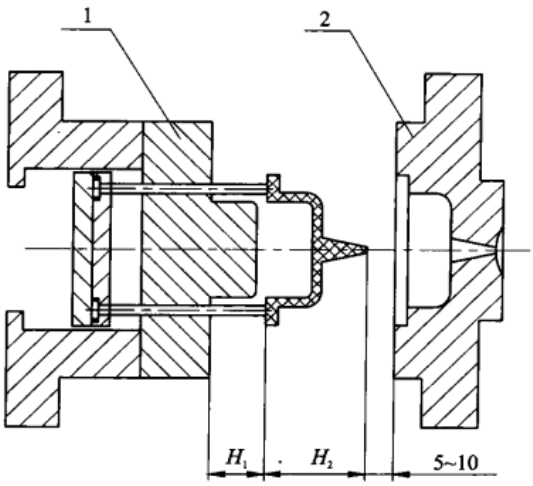
H_2——包括浇注系统凝料在内的塑件高度，mm。

② 对于双分型面注射模（图 3－28 所示），其开模行程可按下式校核：

$$S \geqslant H_1 + H_2 + a + (5 \sim 10)\ \text{mm} \tag{3-12}$$

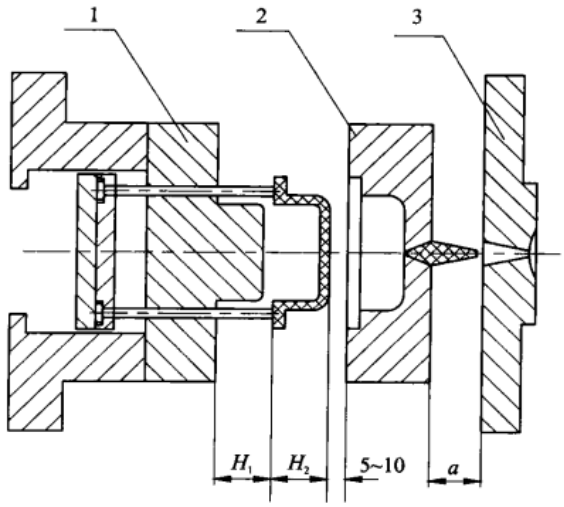
式中：H_2——塑件高度（不包括浇注系统凝料高度，mm）；

a——取出浇注系统凝料所需的分模距离，mm。



1—动模；2—定模

图 3－27　单分型面注射模开模行程



1—动模板；2—中间板；3—定模座板

图 3－28　双分型面注射模开模行程

2）注射机的最大开模行程与模具厚度有关的校核

对于合模机构为全液压式的注射机以及带有丝杆传动的直角式注射机，其最大开模行程 S 等于注射机的移动模板与固定模板之间的最大开距 S_k 减去模具闭合厚度 H_m，即

$$S = S_k - H_m \tag{3-13}$$

① 对于单分型面注射模，其开模行程按下式校核：

$$S_k \geqslant H_m + H_1 + H_2 + (5 \sim 10)\ \text{mm} \tag{3-14}$$

② 对于双分型面注射模，其开模行程可按下式校核：

$$S_k \geqslant H_m + H_1 + H_2 + a + (5 \sim 10)\ \text{mm} \tag{3-15}$$

3）有侧向抽芯机构时开模行程的校核

图 3－29 所示为有侧向抽芯的开模行程，开模行程的校核需要考虑侧向抽芯所需的开模距离 H_c。若 $H_c \leqslant H_1 + H_2$，则 H_c对开模行程没有影响，仍按前述各公式进行校核；若 $H_c > H_1 + H_2$，则可用 H_c代替前述校核公式中 $H_1 + H_2$的进行校核。

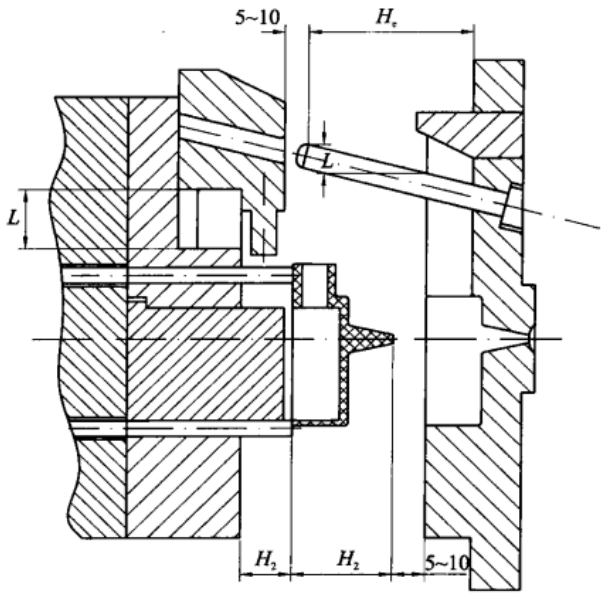


图 3－29　有侧向抽芯的开模行程

（6）推出装置的校核

不同型号注射机的推出装置和最大推出距离各不相同，设计模具时，必须了解注射机推出形式（中心推出还是两侧双杆推出）、顶杆直径、顶出距离和顶杆中心距等，以使模具的推出机构与注射机的推出机构相适应。

3.3.5　分型面的设计

为了取出塑件和浇注系统凝料以及安放嵌件的需要，将模具型腔分成 2 个或多个可分离的部分，这些部分的接触表面称为分型面。

1. 分型面的形式

注射模有单个分型面和多个分型面之分。在多个分型面的模具中，用于取出塑件的那个分型面为主分型面，其他的分型面为辅助分型面。

分型面的形状有平直分型面、倾斜分型面、阶梯分型面、曲面分型面和瓣合分型面等，如图 3－30 所示。

2. 分型面的设计原则

影响分型面的因素很多，选择分型面一般应遵循以下几个基本原则：

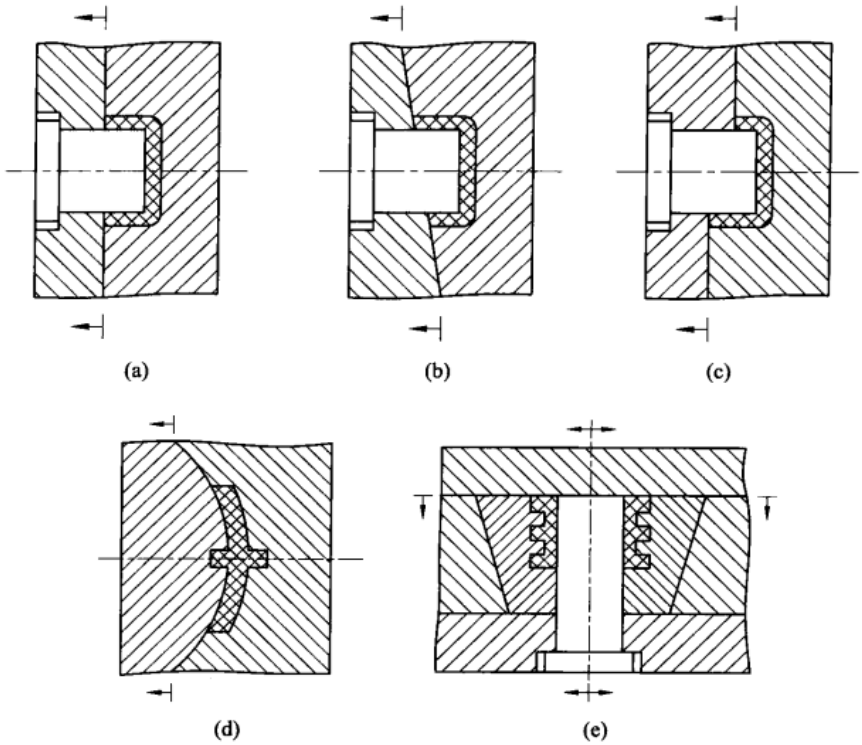


图 3-30　分型面的形状

(1) 分型面应选择在塑件外形最大轮廓处

将分型面选在最大轮廓处，这是最基本的原则，否则塑件无法从型腔中取出。

(2) 分型面的选择应有利于塑件顺利脱模

一般注射模的脱模机构均设置在动模一侧，因此，分型面的选择应尽可能使塑件在开模后留在动模一侧，以便塑件顺利脱模。图 3-31(a)所示的分型，由于塑件收缩包紧在型芯上，分型后塑件留在定模一侧，这就必须在定模部分设置推出机构，增加了模具的复杂程度；而图 3-31(b)所示的分型，分型后塑件留在动模一侧，利用推出机构很容易推出塑件。

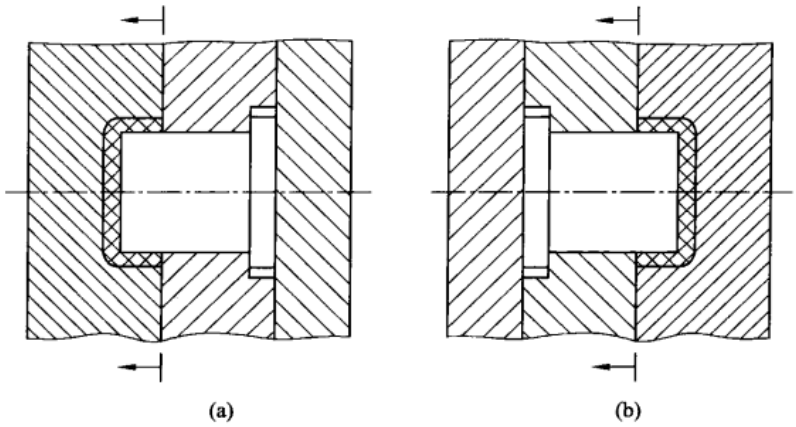


图 3-31　分型面对脱模的影响

（3）分型面的选择应保证塑件的精度要求

如图 3－32 所示的塑件，两外圆柱面有较高的同轴度要求，若按图 3－32(a)设置分型面，两圆柱面分别在动、定模两侧，同轴度很难保证；若采用图 3－32(b)的形式，塑件均在定模一侧的型腔内，其同轴度得以保证。

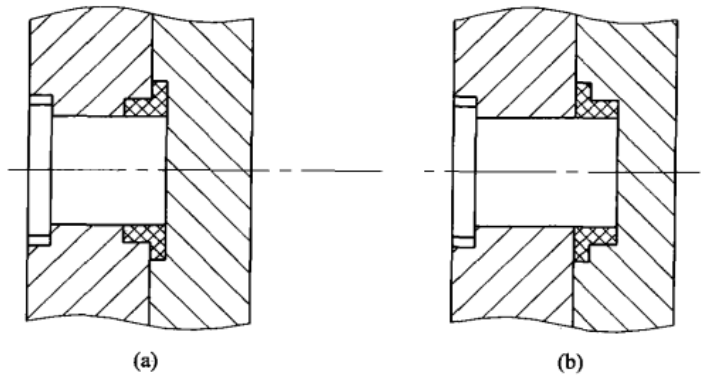


图 3－32　分型面对塑件精度的影响

（4）分型面的选择应考虑塑件外观质量

分型面最好不要选在塑件光滑的表面和产生飞边不易修整的部位。图 3－33(a)所示的分型面选在光滑表面处，飞边不易清除且影响塑件外观；而图 3－33(b)的分型面正好处在大、小圆柱面的交接处，即不影响塑件外观，飞边也易清除。

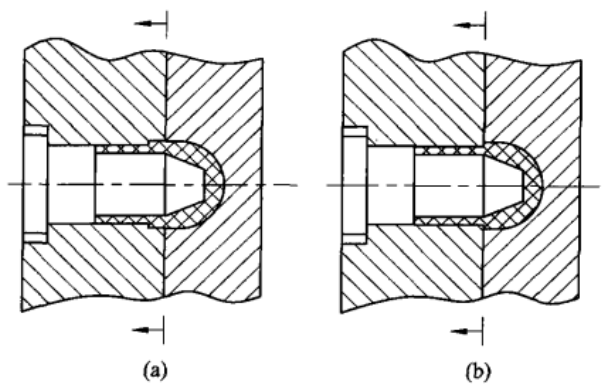


图 3－33　分型面对塑件外观质量的影响

（5）分型面的选择应有利于排气

为了便于排气，一般分型面应尽可能与熔体流动的末端重合。图 3－34(a)中的结构，料流末端被封堵，排气效果差；图 3－34(b)中的结构合理。

（6）分型面的选择应便于模具制造

如图 3－35 所示的塑件，若采用图 3－35(a)的形式，推管的工作端部需要加工出阶梯形状，且需要考虑止转，制造麻烦，另外合模时还需与定模型腔配合，模具制造难度加大；而图 3－35(b)所示的形式，模具制造容易。

分型面的设计，除上述原则要求之外，还要考虑锁模力的方向、侧向抽芯是否方便等因素。在实际设计中，很难做到全部满足上述原则，应考虑主要问题，合理地确定分型面。

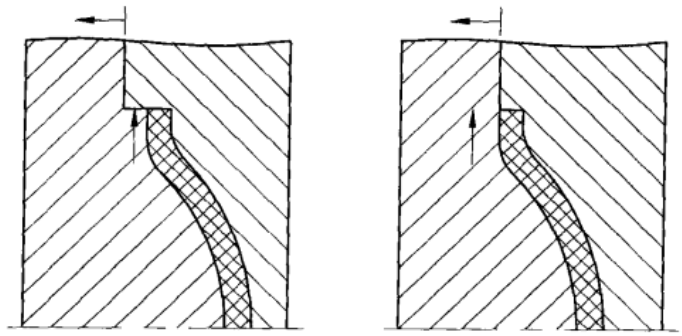


图 3-34　分型面对排气的影响

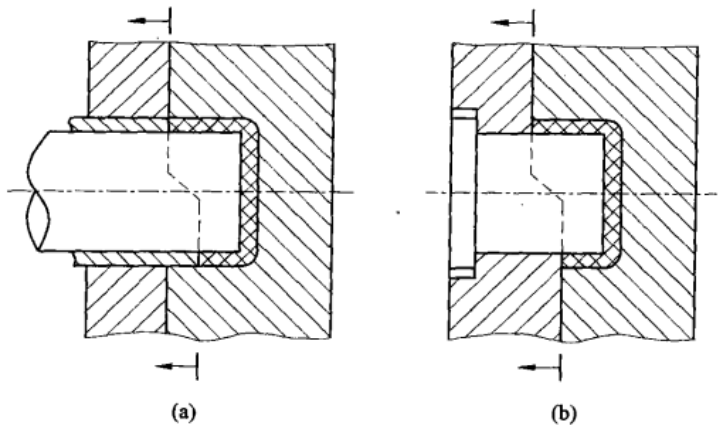


图 3-35　分型面对模具制造的影响

3.3.6　浇注系统和排气系统设计

1. 普通浇注系统设计

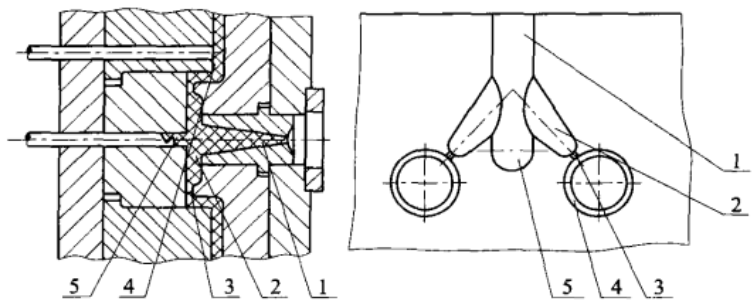
浇注系统是指模具中由注射机喷嘴与模具接触处到型腔为止的塑料熔体流动通道。它的作用是将塑料熔体均匀地引入模具型腔，在充填和定型过程中，将型腔内气体排出，并将注射压力传递到型腔各个部位，以获得形状完整、尺寸稳定的合格塑件。

普通浇注系统一般由主流道、分流道、浇口和冷料井等 4 部分组成，如图 3-36 所示。图 3-36(a)所示为卧式或立式注射机上用的注射模的浇注系统，图 3-36(b)所示为角式注射机上用的注射模的浇注系统。

(1) 主流道

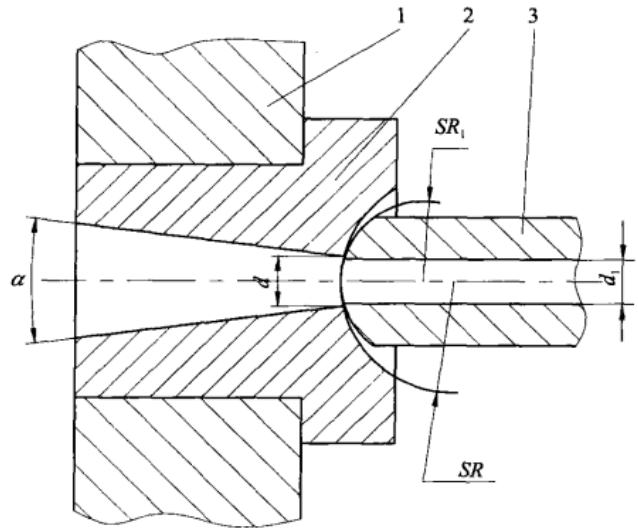
主流道是指从注射机喷嘴与模具接触处到分流道为止的一段流道，是塑料熔体进入模具型腔最先流经的部位，通常设计在注射模的主流道衬套中。主流道轴线一般位于模具中心线上，与注射机喷嘴轴线重合。主流道结构及与注射机喷嘴的连接关系如图 3-37 所示。

为了让主流道凝料能从主流道衬套中顺利取出，主流道设计成锥角 α 为 2°～6°的圆锥形，流道表面粗糙度 $R_a \leqslant 0.8\ \mu m$，长度一般不超过 60 mm，与分流道结合处需采用半径为 1～3 mm 的圆角过渡。主流道衬套一般选用碳素工具钢如 T8A，T10A 等材料，热处理淬火硬度



1—主流道；2—分流道；3—浇口；4—塑件；5—冷料井

图 3-36　普通浇注系统的组成



1—定模座板；2—主流道衬套；3—注射机喷嘴

图 3-37　主流道结构及与注射机的关系

53～57HRC。

主流道与注射机喷嘴的对接处设计成球形凹面，其深度为(1/3～2/5)R，球面半径 R 比喷嘴球面半径 R_1 大 2～3 mm，小端直径 d 比注射机喷嘴直径 d_1 大 0.5～1 mm。主流道衬套的结构形式，以及与模板、定位圈的固定形式如图 3-38 所示。主流道衬套与模板的配合采用 H7/m6，与定位圈的配合采用 H9/f9。在设计小型模具时，可将主流道衬套与定位圈设计成整体式，如图 3-38(a)所示。

(2) 分流道

分流道是指主流道末端与浇口之间的一段流道。对于小型塑件的单型腔注射模，通常不设分流道。分流道作用是改变熔体流向，使其平稳、均衡地分配到各个型腔。

1) 分流道的截面形状及尺寸

常用的分流道截面形状有圆形、梯形、U 形、半圆形及矩形等，如图 3-39 所示。圆形截面的比表面积(流道表面积与体积之比)最小，但需同时在分型面两侧模板上开设半圆截面，要使

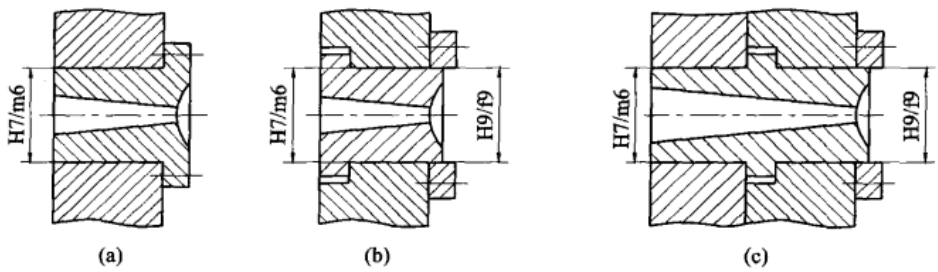


图 3-38　主流道衬套的结构及固定形式

两者完全吻合，制造较困难；梯形和 U 形截面分流道加工较容易，且热量损失和流动阻力不大，为最常用的形式；半圆形和矩形截面分流道比表面积均较大，其中矩形最大，热量及压力损失大，故矩形截面分流道比半圆截面分流道更少采用。

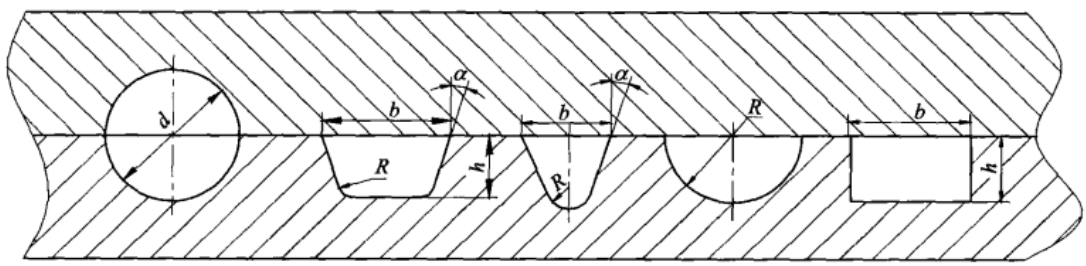


图 3-39　分流道截面形状

通常圆形截面分流道直径 d 为 2～10 mm，对于大多数塑料，常取 5～6 mm；梯形截面分流道的侧面斜角 α 常取 5°～ 10°，宽度 b 可在 4～12 mm 内选取，深度 $h=(2/3)b$；U 形截面分流道的宽度 b 可在 5～10 mm 内选取，半径 $R=0.5b$，深度 $h=1.25R$，斜角 $\alpha=$ 5°～ 10°；半圆形截面分流道半径 R 为 $0.5d$。

2）分流道布置形式

分流道的布置形式有平衡式和非平衡式两种。

平衡式布置是指主流道到各个型腔分流道的长度、截面形状及尺寸均相同，如图 3-40 所示。这种布置形式可实现各个型腔能同时均衡进料，但分流道较长。

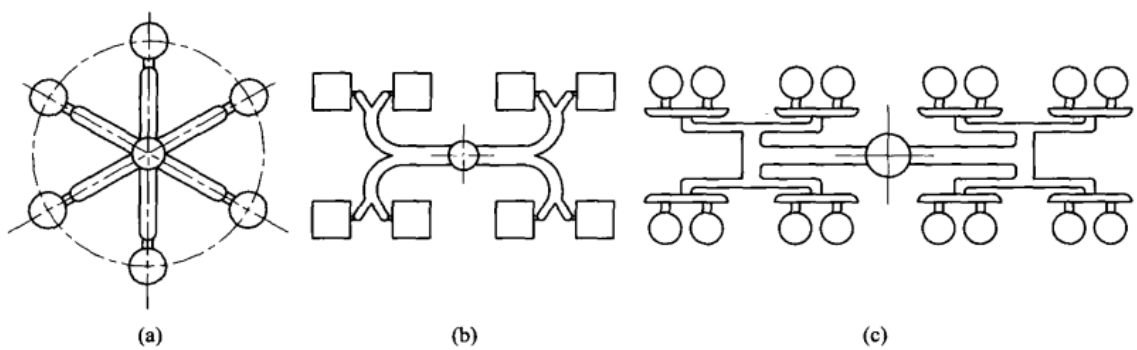


图 3-40　分流道的平衡式布置

非平衡式布置则是指主流道到各个型腔分流道的长度不同，如图 3-41 所示。这种布置

形式在型腔较多时，可缩短流道的长度，型腔排列紧凑，但为了实现同时充满各个型腔的要求，而采用调节各浇口尺寸的办法是相当复杂和困难的。因此对于精度要求特别高的塑件，不宜采用非平衡式布置形式。

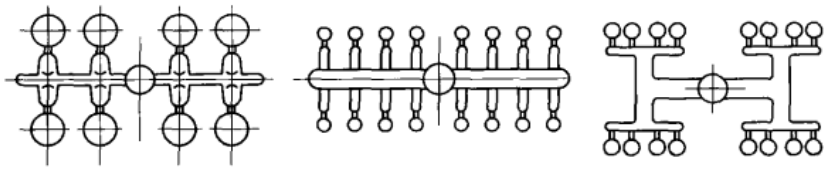


图 3-41　分流道的非平衡式布置

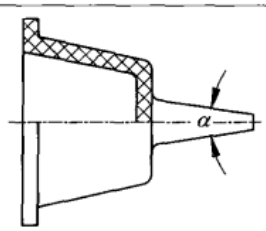
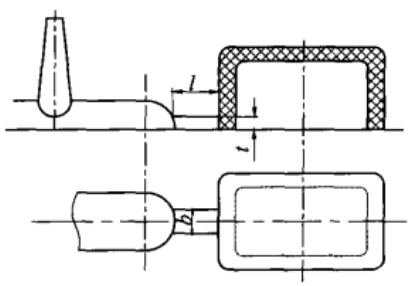
分流道设计时应注意尽量减少熔体流动过程中的热量和压力损失。为便于分流道的加工和凝料脱模，分流道大都设在分型面上。分流道的表面不必很光滑，表面粗糙度 R_a 一般取 1.6 μm即可，这样可使外层塑料的冷却皮层固定，形成绝热层。另外，当分流道较长时，在分流道末端应开设冷料井，以容纳前锋冷料，保证塑件的质量。

(3) 浇　口

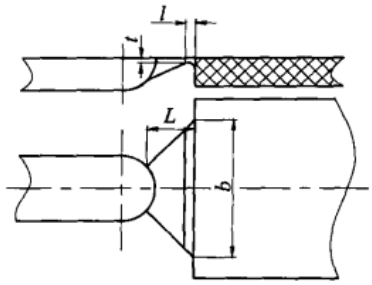
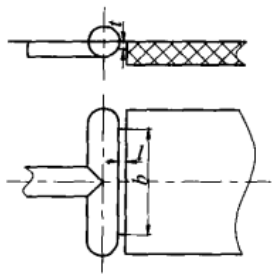
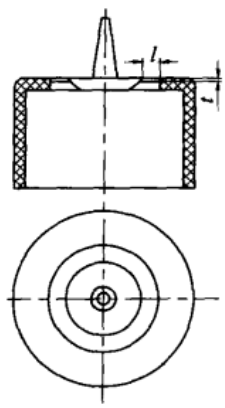
浇口是连接分流道与型腔的熔体通道，它在大多数情况下是浇注系统中截面尺寸最小且长度最短的部分。浇口的作用主要表现为：对塑料熔体流入型腔起控制作用，有利于充模；当充模结束注射压力撤销后，浇口处熔体较早凝固，防止型腔内熔体的倒流；成型后也便于塑件与整个浇注系统凝料分离。

浇口形式、大小、数量及位置的确定在很大程度上决定了塑件的质量，也影响了成型周期的长短。常见的浇口形式、尺寸及特点见表 3-6。

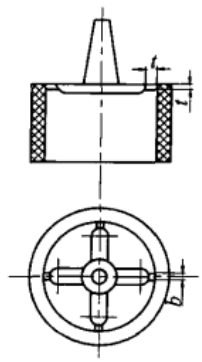
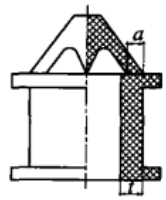
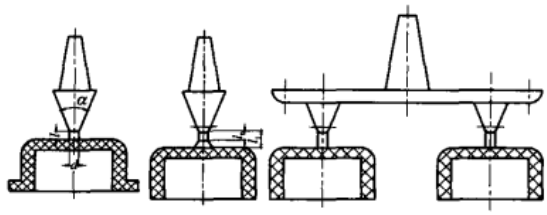
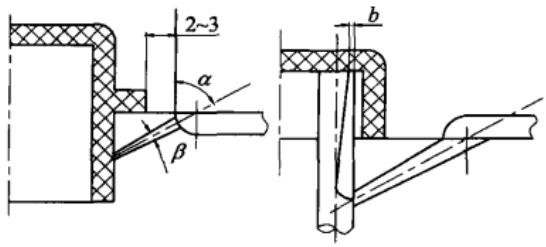
表 3-6　浇口的形式及特点

序　号	浇口形式	简　图	特点及应用
1	(主流道型浇口) 直接浇口	 $\alpha=2°\sim4°$	浇口尺寸较大，流程短，流动阻力小，进料速度快，补缩时间长，利于排气。但易产生残余应力和缩孔，浇口去除困难，且留有明显痕迹。 适用于大、中型深型腔筒形或壳形塑件、热敏性塑料和高黏度塑料
2	(边缘浇口) 侧浇口	 浇口宽 $b=1.5\sim5$ mm，浇口深 $t=0.5\sim2$ mm，浇口长 $l=0.7\sim2$ mm	一般开设在分型面上，可以调整充模时的剪切速率和浇口封闭时间。浇口截面小，去除容易，且不留明显痕迹。但注射压力损失大，成型深型腔塑件时排气困难，易形成熔接痕。 适用于成型各种塑料、各种形状的塑件，应用广泛

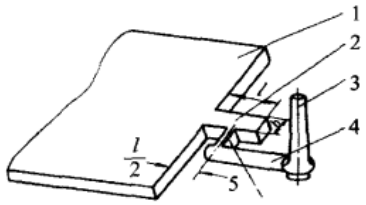
续表 3-6

序　号	浇口形式	简　图	特点及应用
3	扇形浇口	 与型腔接合处浇口长 $l=1\sim1.3$ mm，深 $t=0.25\sim1$ mm，宽度 $b\geqslant6$ mm，浇口总长 L 取 6 mm 左右	侧浇口的变异形式，沿宽度方向上进料更加均匀，可降低塑件的内应力，避免流纹及定向所带来的不良影响，减少带入空气的可能性。但浇口痕迹较明显。 适用于扁平而较薄的塑件成型
4	平缝浇口	 浇口长 $l=1.2\sim1.5$ mm，深 $t=0.25\sim0.65$ mm，宽度 b 取塑件宽度的 25%～100%	侧浇口的另一变异形式，熔体通过特别开设的平行流道与平缝浇口得到均匀分配，料流平稳均匀地进入型腔，无熔接痕，并可降低塑件内应力，减少翘曲变形。但去除浇口凝料的后加工量大。 主要用于成型面积较大的扁平塑件
5	环形浇口	 浇口深 $t=0.25\sim1.6$ mm，浇口长 $l=0.8\sim1.8$ mm	此浇口进料均匀，流动状态好，排气容易，塑件上无熔接痕。但浇口凝料去除困难。 主要用于成型圆筒形无底塑件

续表 3-6

序　号	浇口形式	简　图	特点及应用
6	轮辐式浇口	 深 $t=0.5\sim1.5$ mm，长 $l=1\sim2$ mm， 宽度 b 视塑件大小而定	此浇口是环形浇口的改进形式，把整个圆周进料改为几小段圆弧进料，浇口凝料去除方便，回头料较少，同时型芯上部得到定位而增加了稳定性。但塑件上熔接痕增加了，对塑件强度有影响。 适用范围与环形浇口类似
7	爪形浇口	 $a=(1/3\sim2/3)t$	该浇口是轮辐式浇口的变异形式，与轮辐式浇口的区别仅在于分流道与浇口不在一个平面内。 主要适用于内孔较小的管状件和同轴度要求高的塑件
8	点浇口 （针点浇口或菱形浇口）	 $d=0.5\sim2$ mm，$l=0.5\sim2$ mm，常取 1～1.5 mm， $l_0=0.5\sim1.5$ mm，$l_1=1\sim2.5$ mm，$\alpha=6°\sim15°$	该浇口俗称小浇口，是一种截面尺寸很小的浇口，有很高的剪切速率，塑件残余应力较小，浇口凝料在开模时可自动拉断，凝料去除后残留痕迹小。但注射压力损失大，浇口尺寸太小时，料流易产生喷射，对塑件质量不利。 适用于圆筒形、盒形、壳形等形状的塑件，应用广泛
9	潜伏式浇口 （剪切浇口）	 浇口锥角 $\beta=10°\sim20°$，倾斜角 $\alpha=30°\sim45°$， 推杆进料口宽度 $b=0.8\sim2$ mm，具体视塑件大小而定	此浇口是由点浇口演变而来的，开设在内、外侧面的隐蔽处，它除了具有点浇口的特点之外，比点浇口的塑件表面质量更好。推出时塑件与浇口凝料可自动切断。但注射压力损失大，浇口加工困难。 主要用于表面质量要求高，大批量生产的塑件。因推出时需有较强的冲击力，故不适于成型较强韧的塑料

续表 3-6

序　号	浇口形式	简　图	特点及应用
10	护耳式浇口 （分接式浇口）	 1—塑件；2—护耳；3—主流道；4—分流道；5—浇口 宽度 b 等于分流道的直径，长度 $l=1.5b$， 厚度约为塑件厚度的 90%	该浇口可以克服小浇口易产生喷射及在浇口附近产生较大内应力而引起塑件翘曲变形等缺陷。但浇口去除麻烦。 主要适用于聚碳酸酯、ABS、有机玻璃、硬聚氯乙烯等流动性差，对应力较敏感的塑料制品成型

浇口位置的选择一般应遵循以下原则：

① 浇口位置应设在塑件厚壁处，使塑料从厚壁流向薄壁。

② 浇口开设的位置应使塑料熔体填充型腔的流程最短、料流变向最少。

③ 浇口位置的选择应避免熔体破裂现象而导致塑件产生缺陷。

④ 浇口位置的选择应减少或避免产生熔接痕、提高熔接强度。

⑤ 浇口开设的位置应有利于排气和补缩。

⑥ 浇口位置的选择应考虑分子定向对塑件性能的影响。

(4) 冷料井

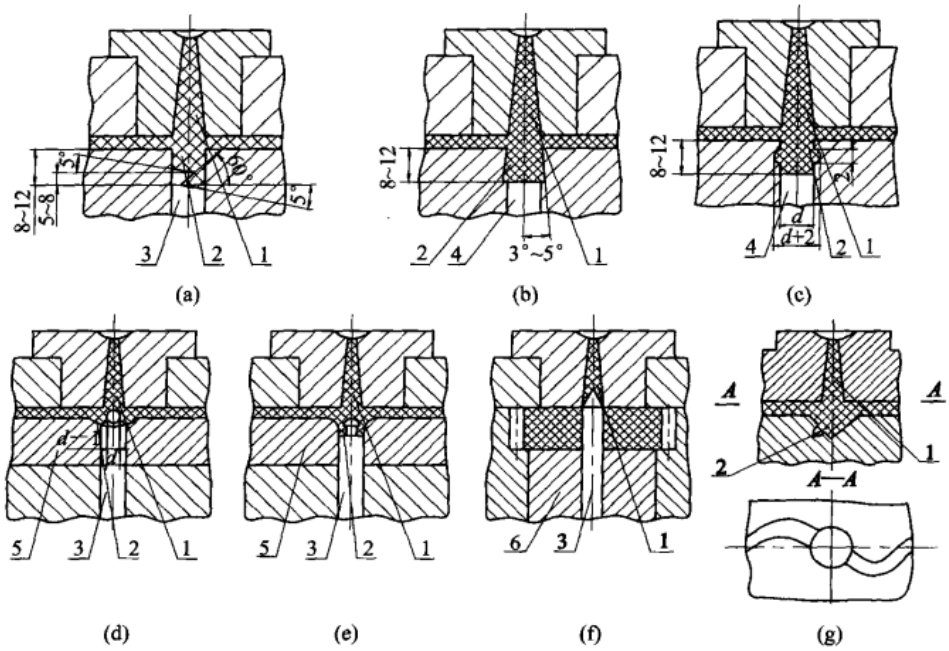
冷料井一般都开设在主流道和分流道的末端，其作用是容纳浇注系统流道中料流的前锋冷料，以免这些冷料进入模具型腔，影响熔体充填速度和塑件质量。图 3-36(a)所示为卧式或立式注射机用注射模的冷料井，图 3-36(b)所示为角式注射机用注射模的冷料井。

为了使主流道凝料能顺利地从主流道衬套中脱出，往往设置拉料杆。常见的冷料井与拉料杆结构形式如图 3-42 所示。

图 3-42(a)是带 Z 形头拉料杆的冷料井，最常用的形式，开模时，由 Z 形钩将主流道凝料从主流道衬套拉出，再由推出机构带动拉料杆将主流道凝料推出模外，用手工沿侧向稍加移动即可取出塑件；图 3-42(b)(c)是带推杆的倒锥形冷料井和圆环槽形冷料井，开模时，倒锥、圆环槽起拉料作用，然后利用推杆强制推出凝料；图 3-42(d)为带球形头拉料杆的冷料井，这种拉料杆用于塑件以推件板推出的模具中，靠凝料对球形头的包紧力，将主流道凝料从主流道衬套中拉出，再由推件板推件时将凝料从球形头拉料杆上强制脱出；图 3-42(e)所示的菌形拉料杆和图 3-42(f)所示的锥形拉料杆是球形头拉料杆的变异形式，锥形拉料杆可起分流作用，但无储存凝料作用；图 3-42(g)是无拉料杆的冷料井，开模时，利用锥形凹坑上的小孔对凝料的拉动作用，将主流道凝料拉出，再借助推杆推塑件的作用力使凝料脱出。

2. 排气系统设计

当塑料熔体向模具型腔充填时，必须将浇注系统和型腔内的空气以及塑料因受热或凝固而产生的低分子挥发气体顺利排出模外，否则，不仅会引起物料注射压力过大，熔体填充困难，造成型腔无法充满，而且会使塑件产生气泡、熔接不良、表面轮廓不清晰等缺陷。因此在模具设计时，要充分考虑排气问题。



1—主流道；2—冷料井；3—拉料杆；4—推杆；5—脱模板；6—推块

图 3-42　冷料井和拉料杆的形式

注射模常采用以下两种排气方式：

(1) 利用间隙排气

在大多数情况下可利用模具的分型面以及推杆、活动型芯、活动镶件等零件与模板的配合间隙进行排气，特别是对中小型模具。这种排气形式的配合间隙通常取 0.02～0.04 mm。

(2) 排气槽排气

利用排气槽排气是可靠而有效的排气方法。排气槽一般开设在料流的末端，最好设在分型面上。排气槽的宽度可取 1.5～6 mm，深度随塑料种类的不同有所差异，以熔体不进入排气槽为度，通常为 0.02～0.04 mm。图 3-43 的排气槽开设在分型面上，为防止排气口正对操作人员，将排气槽设计成 5～8 mm 长，再拐弯并适当增加深度。

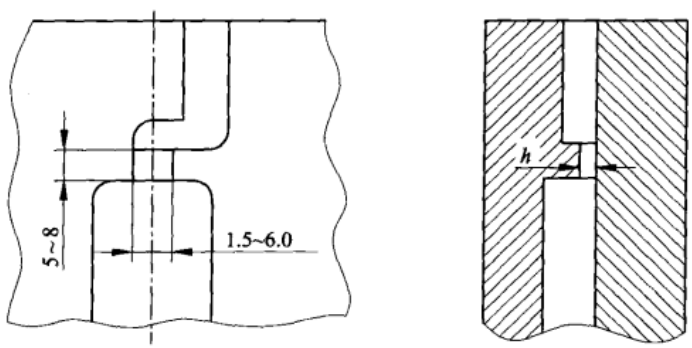


图 3-43　排气槽的形式

3.3.7 成型零部件设计

1. 成型零部件的结构设计

成型零部件决定了塑件的几何形状和尺寸，是模具最主要的组成部分，主要包括凹模、凸模（型芯）、成型杆、镶块和成型环等。

（1）凹模的结构设计

凹模是成型塑件外表面的主要零件，按其结构不同可分为整体式、整体嵌入式、局部镶拼式和四壁拼合式凹模。

1）整体式凹模

整体式凹模结构如图 3－44 所示，它是在整块模板上加工而成的，具有牢固可靠，不易变形，成型的塑件质量较好等特点，但加工工艺性相对较差，因此常用于形状简单的塑件成型。

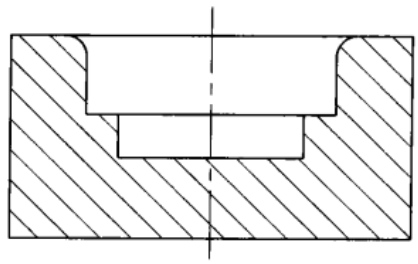


图 3－44 整体式凹模

2）整体嵌入式凹模

整体嵌入式凹模常用于多型腔模具。将每个型腔单独加工成整体式凹模，再采用 H7/m6 过渡配合压入模板中。这种结构加工效率高，更换方便，可以保证各个型腔的形状尺寸一致，其结构形式如图 3－45 所示。图 3－45(a)(b)为通孔台肩式，凹模带有台肩，从下面嵌入凹模固定板，再用垫板与螺钉紧固；图 3－45(c)为通孔无台肩式，凹模嵌入固定板内，用垫板与螺钉紧固；图 3－45(d)为非通孔的固定形式。

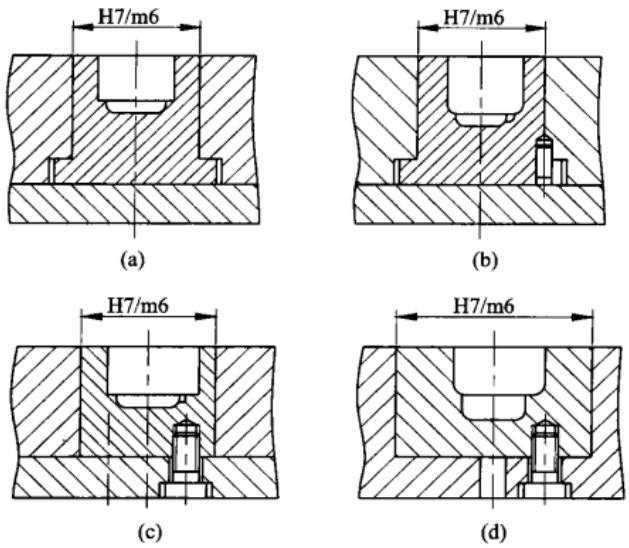


图 3－45 整体嵌入式凹模

3）局部镶拼式凹模

局部镶拼式主要用于形状复杂不易加工或局部易损坏的凹模，将难以加工或易损坏的部分设计成镶件形式，嵌入型腔主体上，其常见的结构如图 3－46 所示。

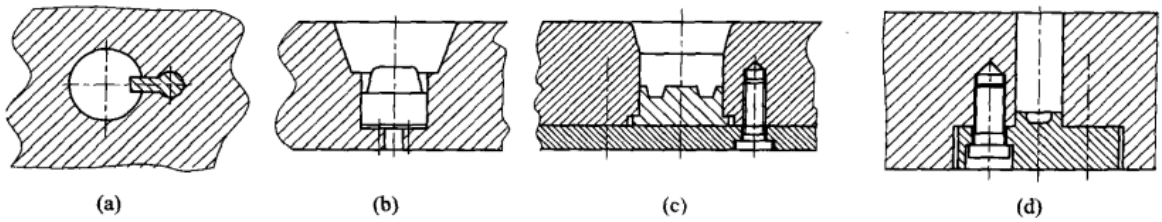
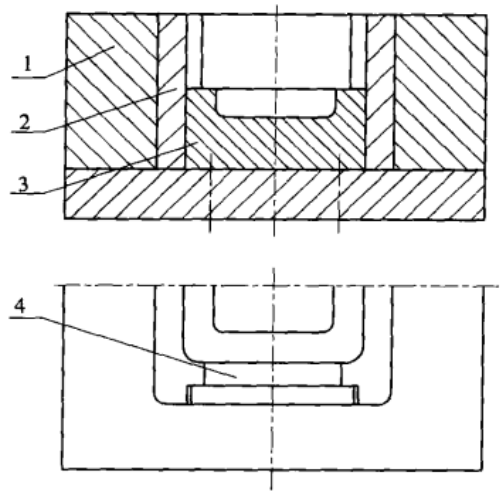


图 3-46　局部镶拼式凹模

4）四壁拼合式凹模

对于大型和形状复杂的凹模，可将凹模的四壁和底部分别加工后压入模套中，如图 3-47 所示。



1—模套；2,3—侧拼块；4—底拼块

图 3-47　四壁拼合式凹模

（2）凸模的结构设计

凸模（型芯）是成型塑件内表面的主要零件，一般在注射模中称为型芯，而在压缩模中称为凸模。常见的结构形式有如下几种：

1）整体式型芯

图 3-48 所示为整体式型芯，其结构牢固，成型的塑件质量好，但不便加工，消耗的模具钢较多，主要用于形状简单的型芯。

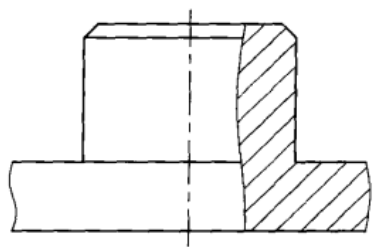


图 3-48　整体式型芯

2）组合式型芯

组合式型芯又分为整体嵌入式和镶拼式，整体嵌入式型芯如图 3-49 所示。这种结构是将型芯单独加工后，再镶入模板中，也采用 H7/m6 的过渡配合。图 3-50 为镶拼式型芯，是将型芯分成容易加工的几个部分，然后拼装在模板中。

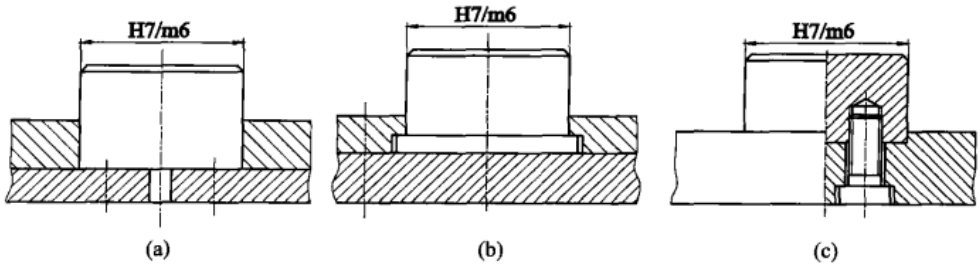


图 3-49　整体嵌入式型芯

3）小型芯

小型芯又称成型杆，用来成型塑件上的小孔或槽。小型芯通常是单独加工后，再嵌入模板中固定，其固定方式如图 3-51 所示。图 3-51(a)是用台肩固定的形式；若固定模板太厚，可采用图 3-51(b)的形式，以减少配合长度；图 3-51(c)是型芯细小而固定板太厚的形式，型芯嵌入后，在下端用圆柱块垫平；图 3-51(d)是用于固定板厚而无垫板的场合，在型芯下端用紧定螺钉固定；图 3-51(e)是型芯嵌入后在另一端采用铆接固定的形式。

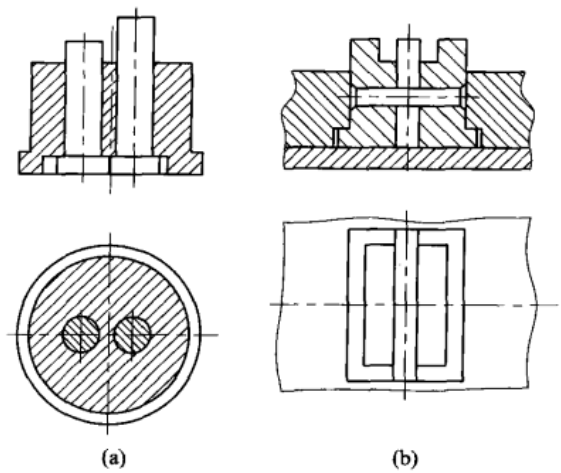


图 3-50　镶拼式型芯

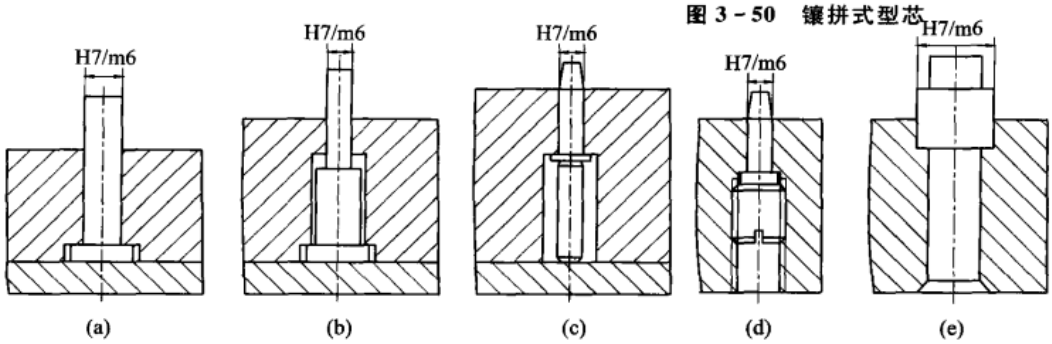


图 3-51　小型芯固定形式

（3）螺纹型芯和螺纹型环的结构设计

螺纹型芯和螺纹型环是分别用来成型塑件上的内螺纹和外螺纹的，此外他们还可用来固定带螺纹的嵌件。螺纹型芯和螺纹型环在模具上都有模内自动卸除和模外手动卸除两种类型。这里仅介绍手动卸除的结构及固定方式。

1）螺纹型芯

螺纹型芯按用途可分为成型塑件上螺纹孔和固定螺母嵌件两种形式，这两种形式的螺纹型芯在结构上差别不大，但前者在设计时应考虑塑料的收缩率，表面粗糙度应小一些，螺纹始端和末端按塑料螺纹结构要求设计，后者仅按普通螺纹制造即可。为使螺纹型芯能从塑件或嵌件上顺利拧出，一般将其尾部做成四方形或相对的两边磨成两个平面，以便于夹持。

螺纹型芯在模具中的安装固定形式如图 3－52 所示，安装时将螺纹型芯直接插入模板对应的配合孔内，通常采用 H8/f8 间隙配合。图 3－52(a)～(c)是用于成型塑件内螺纹的，图 3－52(d)～(f)是用来固定螺母嵌件的。图 3－52(a)是利用锥面定位和密封的形式；图 3－52(b)是用圆柱面定位和垫板支承的形式；图 3－52(c)是带豁口柄的结构形式，用于直径小于 8 mm的螺纹型芯；图 3－52(d)是利用嵌件与模具的接触面来防止型芯受压下沉；图 3－52(e)是将嵌件下端镶入模板中，以增加嵌件的稳定性，并防止塑料挤入嵌件螺孔中；图 3－52(f)是将小直径螺纹嵌件直接插入固定在模具上的光杆型芯上，因螺纹牙沟细小，塑料挤入不多，可省去模外卸螺纹的操作。

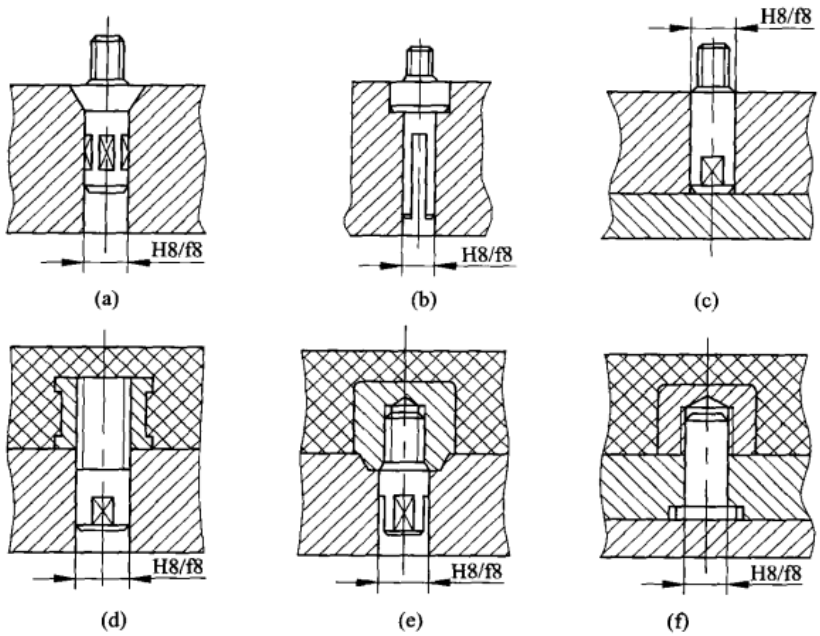


图 3－52　螺纹型芯结构及固定形式

2）螺纹型环

螺纹型环也有成型塑件外螺纹和固定带有外螺纹的嵌件两种形式。图 3－53 所示为常见的一种组合式结构形式，螺纹型环由两个半瓣拼合而成，半瓣之间用定位销定位，拼合后镶入模板中。

2. 成型零部件工作尺寸计算

成型零件工作尺寸是指成型零件上直接用以成型塑件部分的尺寸，主要有型腔和型芯的径向尺寸、型腔的深度和型芯的高度尺寸、中心距尺寸、型芯(或成型孔)中心到成型面距离尺寸等。

(1) 影响成型零件尺寸的主要因素

1）塑件收缩率波动

塑件成型后的收缩变化与多种因素有关，收缩率波动越大，可能产生的成型收缩率估计误差也越大。因收缩率波动所引起的塑件尺寸误差可按下式计算：

$$\delta_s = (S_{max} - S_{min})L_s \tag{3-16}$$

式中：δ_s——收缩率波动所引起的塑件尺寸误差；

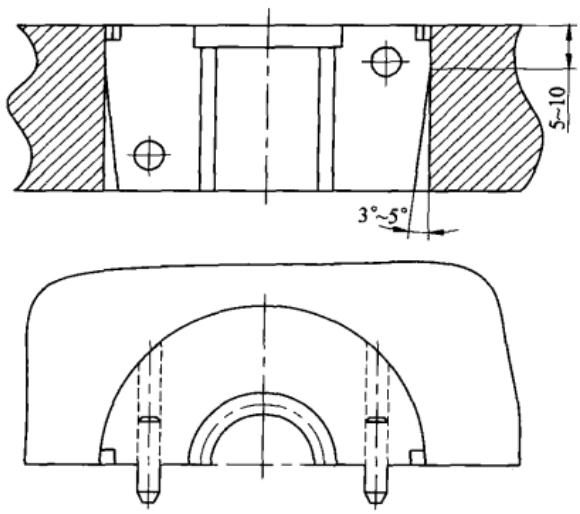


图 3-53　螺纹型环的结构及固定

S_{max}——塑料的最大收缩率；

S_{min}——塑料的最小收缩率；

L_s——塑件的基本尺寸。

2）模具成型零件的制造误差

成型零件制造精度直接影响塑件的尺寸精度，成型零件的制造精度高，则塑件的精度也高。成型零件的制造公差 δ_z 可取塑件公差 Δ 的 1/3～1/4 或取 IT7～IT8 级精度。

3）模具成型零件的磨损

模具在使用过程中，由于塑料熔体的冲刷、成型过程产生的腐蚀性气体的锈蚀、脱模时塑件与模具的摩擦以及模具维修时重新打磨抛光等原因，均可能造成成型零件的磨损。磨损量 δ_c 应根据塑件的产量、塑料的品种、模具材料等因素来确定。一般对中小型塑件，最大磨损量可取塑件公差 Δ 的 1/6，对于大型塑件则取塑件公差 Δ 的 1/6 以下。

此外，模具安装配合、塑件的脱模斜度等都会影响塑件的尺寸精度。

（2）成型零件工作尺寸的计算

成型零件工作尺寸的计算方法有两种，常用的是按平均收缩率、平均制造公差和平均磨损量进行计算的方法，成型零件工作尺寸与塑件尺寸的关系如图 3-54 所示。

1）型腔与型芯的径向尺寸计算

型腔径向尺寸

$$(L_M)_{0}^{+\delta_z} = [(1+S_{cp})L_S - x\Delta]_{0}^{+\delta_z} \tag{3-17}$$

型芯径向尺寸

$$(l_M)_{-\delta_z}^{0} = [(1+S_{cp})l_S + x\Delta]_{-\delta_z}^{0} \tag{3-18}$$

式中：L_M，l_M——型腔、型芯的径向基本尺寸，mm。

L_S，l_S——塑件外廓、塑件孔的径向基本尺寸，mm。

S_{cp}——塑件的平均收缩率。

Δ——塑件的尺寸公差，mm。

x——修正系数　当塑件尺寸较大、精度级别较低时，$x=0.5$；

当塑件尺寸较小、精度级别较高时，$x=0.75$。

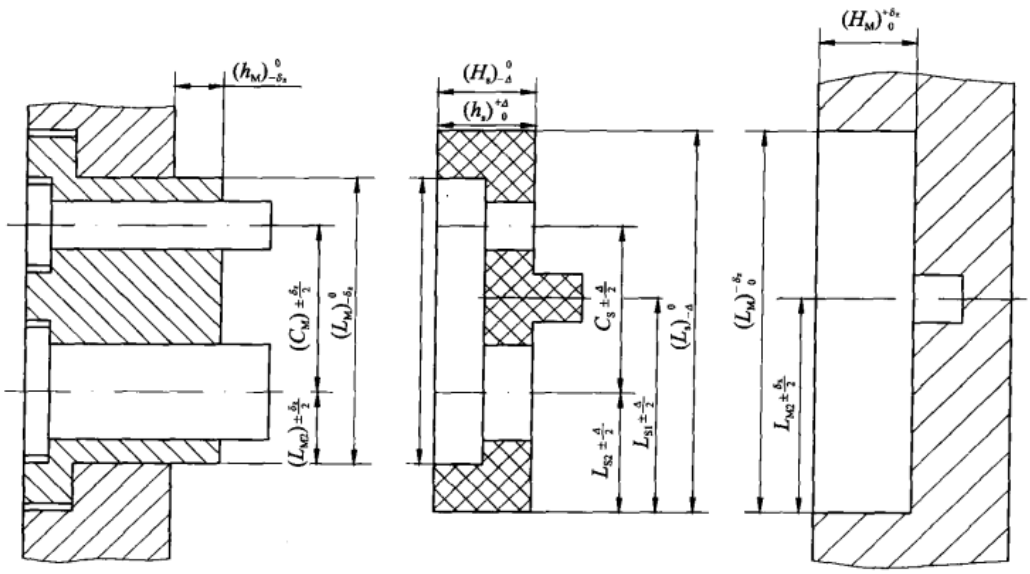


图 3-54　成型零件工作尺寸与塑件尺寸的关系

2）型腔深度与型芯高度的尺寸计算

型腔深度尺寸

$$(H_M)^{+\delta_z}_{0}=[(1+S_{cp})H_S-x\Delta]^{+\delta_z}_{0} \tag{3-19}$$

型芯高度尺寸

$$(h_M)_{-\delta_z}^{0}=[(1+S_{cp})h_S+x\Delta]_{-\delta_z}^{0} \tag{3-20}$$

式中：H_M，h_M——型腔深度、型芯高度的基本尺寸，mm。

H_S，h_S——塑件高度、塑件孔深的基本尺寸，mm。

x——修正系数　当塑件尺寸较大、精度级别较低时，$x=1/3$；

当塑件尺寸较小、精度级别较高时，$x=1/2$。

3）中心距的尺寸计算

模具上凸台之间、凹槽之间或凸台与凹槽之间的中心线距离等这一类尺寸称为中心距尺寸。因同时磨损的结果可能会使中心距尺寸发生变化，在计算时不必考虑磨损量。中心距尺寸为

$$(C_M)\pm\frac{\delta_z}{2}=[(1+S_{cp})C_S]\pm\frac{\delta_z}{2} \tag{3-21}$$

式中：C_M——模具中心距的基本尺寸，mm；

C_S——塑件中心距的基本尺寸，mm。

4）型芯中心到成型面距离尺寸计算

凹模内型芯（或成型孔）的中心线与凹模侧壁距离尺寸为

$$(L_{M1})\pm\frac{\delta_z}{2}=\left(L_{S1}+L_{S1}S_{cp}-\frac{\delta_c}{4}\right)\pm\frac{\delta_z}{2} \tag{3-22}$$

凸模上型芯（或成型孔）的中心线与凸模侧壁距离尺寸为

$$(L_{M2})\pm\frac{\delta_z}{2}=\left(L_{S2}+L_{S2}S_{cp}+\frac{\delta_c}{4}\right)\pm\frac{\delta_z}{2} \tag{3-23}$$

式中：L_{M1}——凹模内型芯(或成型孔)中心线与凹模侧壁距离的基本尺寸，mm；

L_{M2}——凸模上型芯(或成型孔)中心线与凸模侧壁距离的基本尺寸，mm；

L_{S1}，L_{S2}——塑件中心线与侧壁距离的基本尺寸，mm。

由于 $\delta_c/4$ 的数值很小(一般磨损量 $\delta_c=\Delta/6$)，因此只有成型精密塑件时才考虑该磨损，通常此类尺寸仍可按中心距工作尺寸计算。

5) 螺纹型芯和螺纹型环的尺寸计算

螺纹连接的种类很多，影响螺纹连接的因素比较复杂，这里只介绍普通螺纹型芯和型环的计算方法。

① 螺纹型芯的尺寸计算

螺纹型芯大径尺寸

$$(d_{M大})_{-\delta_z}^{0}=[(1+S_{cp})d_{S大}+\Delta_{中}]_{-\delta_z}^{0} \tag{3-24}$$

螺纹型芯中径尺寸

$$(d_{M中})_{-\delta_z}^{0}=[(1+S_{cp})d_{S中}+\Delta_{中}]_{-\delta_z}^{0} \tag{3-25}$$

螺纹型芯小径尺寸

$$(d_{M小})_{-\delta_z}^{0}=[(1+S_{cp})d_{S小}+\Delta_{中}]_{-\delta_z}^{0} \tag{3-26}$$

式中：$d_{M大}$，$d_{M中}$，$d_{M小}$——螺纹型芯的大径、中径和小径的基本尺寸，mm；

$d_{S大}$，$d_{S中}$，$d_{S小}$——塑件内螺纹的大径、中径和小径的基本尺寸，mm；

$\Delta_{中}$——塑件螺纹中径公差，mm，其值可参照金属螺纹公差标准中精度最低者选用；

δ_z——螺纹型芯的中径制造公差，mm，其值一般取 $\Delta_{中}/5$ 或查表。

② 螺纹型环的尺寸计算

螺纹型环大径尺寸

$$(D_{M大})_{0}^{+\delta_z}=[(1+S_{cp})D_{S大}-\Delta_{中}]_{0}^{+\delta_z} \tag{3-27}$$

螺纹型环中径尺寸

$$(D_{M中})_{0}^{+\delta_z}=[(1+S_{cp})D_{S中}-\Delta_{中}]_{0}^{+\delta_z} \tag{3-28}$$

螺纹型环小径尺寸

$$(D_{M小})_{0}^{+\delta_z}=[(1+S_{cp})D_{S小}-\Delta_{中}]_{0}^{+\delta_z} \tag{3-29}$$

式中：$D_{M大}$，$D_{M中}$，$D_{M小}$——螺纹型环的大径、中径和小径的基本尺寸，mm；

$D_{S大}$，$D_{S中}$，$D_{S小}$——塑件外螺纹的大径、中径和小径的基本尺寸，mm；

δ_z——螺纹型环的中径制造公差，mm，其值一般取 $\Delta_{中}/5$ 或查表。

③ 螺纹型芯和螺纹型环螺距的尺寸计算

螺纹型芯和螺纹型环的螺距尺寸均采用下式计算：

$$(P_M)\pm\frac{\delta_z}{2}=P_S(1+S_{cp})\pm\frac{\delta_z}{2} \tag{3-30}$$

式中：P_M——螺纹型芯或型环螺距的基本尺寸，mm；

P_S——塑件内螺纹或外螺纹螺距的基本尺寸，mm；

δ_z——螺纹型芯或型环螺距的制造公差，mm，其值可查表。

3. 成型零部件强度和刚度计算

塑料模具需要在一定温度和压力下工作，模具型腔受到塑料熔体压力的作用，必须具有足

够的刚度和强度。如果型腔侧壁和底板的厚度过小，就可能因强度不够而产生塑性变形，也可能因刚度不够产生挠曲变形，导致溢料或出现飞边，使塑件产生缺陷。因此合理确定型腔侧壁和底板的厚度是非常重要的。

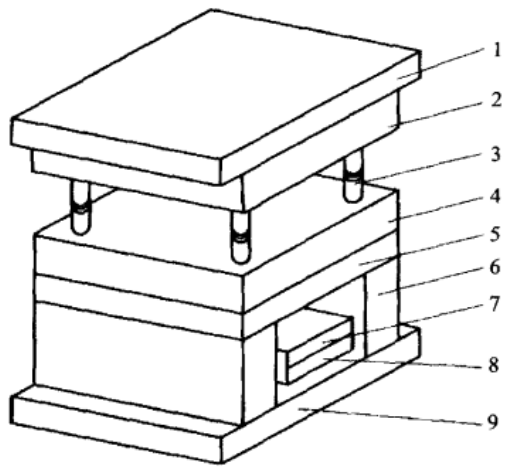
目前型腔壁厚计算主要有计算法和查表法两种方法。计算法中常用的有按强度和按刚度计算两大类，由于模具型腔的形状、结构形式是多种多样的，其计算方法也是相应有多种，再者，模具在成型过程中受力情况也十分复杂，一些参数难以确定，因此对型腔壁厚的计算既很难做到精确，也比较复杂且繁琐。在一般的模具设计中，为简化模具设计，常采用经验数据或查有关表格，即查表法。

3.3.8　结构零部件设计

注射模具的结构组成除成型零部件外，另一部分就是结构零部件。这里仅介绍合模导向机构、支承零部件以及由模具主要零部件构成的模架设计，其余结构零部件的设计将在以后各有关章节中介绍。

1. 注射模的模架设计

模架是注射模的骨架和基体，通过它能够使模具各个部分有机地联系成为一个整体，其典型的结构形式如图 3－55 所示。注射模的模架一般由定模座板、动模座板、定模板、动模板、动模支承板、垫块、导柱、导套、推杆固定板、推板及复位杆等组成。



1—定模座板；2—定模板；3—导柱；4—动模板；5—动模支承板；6—垫块；7—推杆固定板；8—推板；9—动模座板

图 3－55　注射模架的典型结构

为提高模具质量，缩短模具制造周期，降低成本，国内外已将模架标准化了。我国注射模架的国家标准有《塑料注射模中小型模架》(GB/T 12556—1990)和《塑料注射模大型模架》(GB/T 12555—1990)，按结构特征分为基本型和派生型。下面以中小型模架为例予以简要介绍。

(1) 基本型

基本型模架如图 3－56 所示，分为 A1，A2，A3，A4 型 4 种。

(2) 派生型

派生型模架是在基本型的基础上派生而来的，分为 P1～P9 型 9 种，这里不再赘述，选用时可参考相关标准。

实际生产中，尽可能选用标准模架，如遇塑件结构特殊或用户指定要求，则可以对模架的部分形状、尺寸和材料作出改变，也可以完全重新设计模架。

2. 支承零部件设计

支承零部件包括动模座板、定模座板、动模板、定模板、支承板和垫块等，其作用是用来安装、固定或支承成型零件及其他结构零件。

(1) 动、定模座板

动模座板和定模座板分别是动模和定模的基座，也是模具与注射机连接的模板，如图

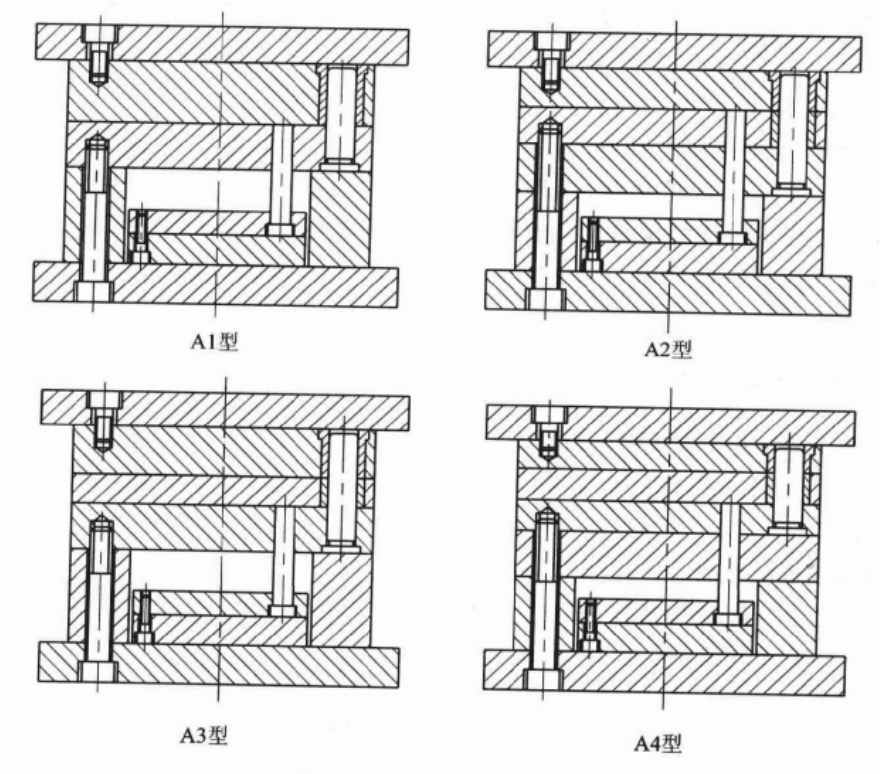


图 3-56　基本型的中小型注射模架

3-55所示，件 1 和件 9 分别是定模座板和动模座板。设计或选用动、定模座板时，必须保证座板的轮廓形状、尺寸和定位孔与注射机的移动模板和固定模板相适应。为保证动、定模座板具有足够的刚度和强度，动、定模座板也应具有一定的厚度，对于小型模具，其厚度一般不小于 15 mm，材料可选用碳素结构钢或合金结构钢。

(2) 动、定模板

动模板和定模板在模具中的作用是安装和固定成型零件、合模导向机构以及脱模机构等零部件，图 3-55 所示的件 2 和件 4 分别为定模板和动模板。为了保证型芯、凹模等被安装零件固定牢靠，动、定模板应具有一定的厚度，材料一般采用碳素结构钢。

(3) 支承板

支承板是垫在动、定模板背面的模板，其作用是防止型芯、凹模、导柱、导套等被固定零件脱出模板，增强被固定零件的稳固性并承受它们传递的成型压力，因此它应具有较高的平行度、强度和刚度。常用的材料有 45 钢、50 钢、40Cr，40MnB 以及结构钢 Q235～Q275 等。如图 3-55 所示的件 5 便是支承板。

(4) 垫块、支承柱

垫块的作用是使动模支承板与动模座板之间形成推出机构运动所需的空间，也能够起到调节模具总厚度，以适应注射机上模具安装空间对模具厚度要求的作用，常见的垫块结构形式如图 3-57 所示。图 3-57(a)为普通垫块，适用于大中型模具；图 3-57(b)为模脚，垫块与动模座板合二为一，常用于中小型模具。垫块常用的材料是中碳钢、Q235 等。

在模具组装时，所有垫块的高度应保持一致，垫块与动模支承板和动模座板之间一般用螺

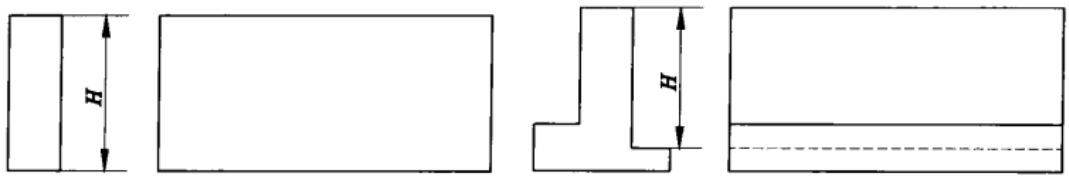
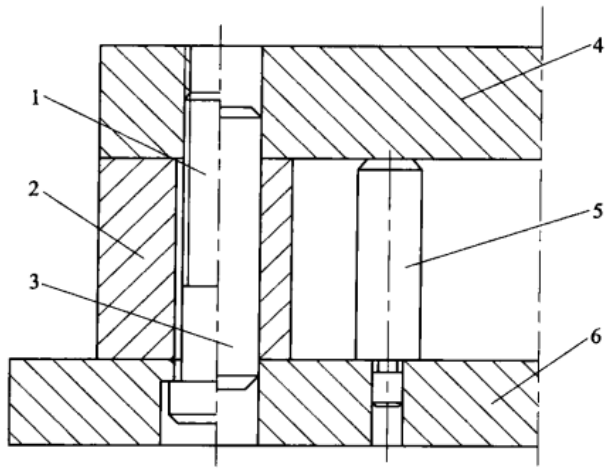


图 3－57　垫块的结构形式

钉连接，用销钉定位，如图 3－58 所示。

对于大型模具或垫块间跨度较大的情况，为了增强动模的刚度和强度，可在动模支承板和动模座板之间采用支承柱，如图 3－58 所示。这种结构形式起辅助支承的作用。如果推出机构设有导向装置，则导柱也能充当支承柱的作用。



1—螺栓；2—垫块；3—圆柱销；4—动模支承板；5—支承柱；6—动模座板

图 3－58　垫块的连接及支承柱的安装形式

上述支承零部件设计时均可参照相应的国家标准进行设计。

3. 合模导向机构设计

合模导向机构的作用是保证动模和定模或模内其他零件之间准确对合，确保塑件的形状和尺寸精度，并避免模内各零部件发生碰撞或干涉，成型时承受一定的侧压力，另外在模具装配时可起定位作用，避免模具动、定模错位。合模导向机构主要有导柱导向和锥面定位两种形式，通常采用导柱导向机构。

(1) 导向零件设计的基本要求

① 导向零件应合理地均布在模具的周围或靠近边缘的部位，其中心至模具边缘应有足够的距离。

② 导柱的分布要合理。对小型模具，通常只用 2 个直径相同且对称分布的导柱(图 3－59(a))；如果注射模的凸模与凹模合模时有方位要求，则用 2 个直径不同的导柱(图 3－59(b))，或用 2 个直径相同，但不对称分布的导柱(图 3－59(c))；对于大中型模具，可采用 3 个或 4 个直径相同不对称分布的导柱(图 3－59(d))，或导柱位置对称，但中心距不同(图 3－59(e))。

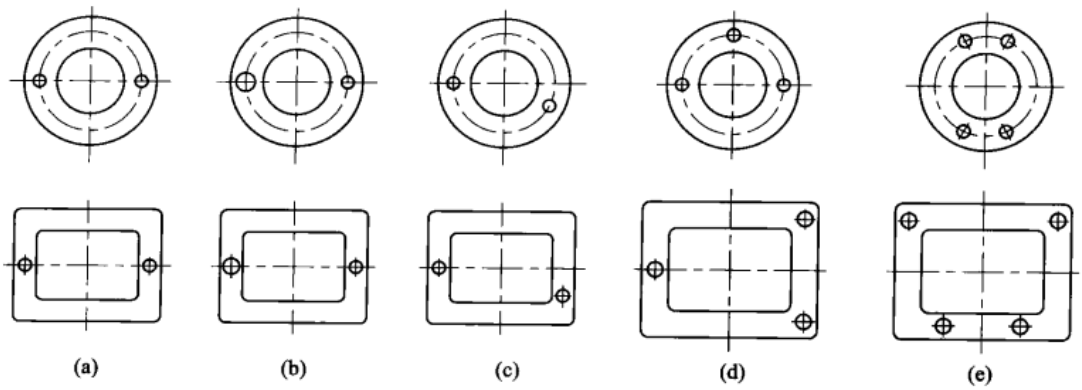


图 3-59　导柱的布置形式

③ 导柱可设置在动模一侧，也可设置在定模一侧。一般优先考虑设置在型芯高出分型面的一侧。

④ 为保证分型面接触良好，导柱和导套在分型面处应设有承屑槽，可削去一个面（图 3-60(a)）或在导套的孔口处倒角（图 3-60(b)）。

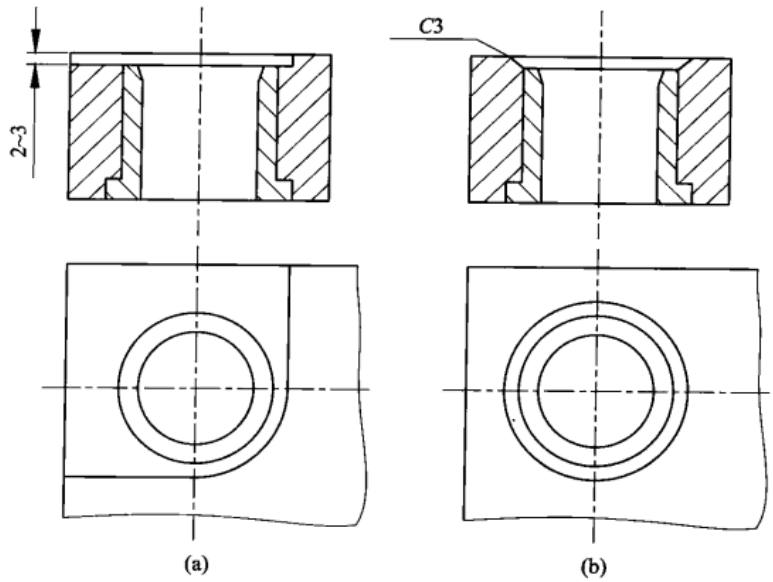


图 3-60　导套的承屑槽

(2) 导柱导向机构

导柱导向机构的主要零件是导柱和导套，有时也可不用导套，而在模板上直接加工出导向孔代替导套。导柱导向机构如图 3-61 所示。

1) 导　柱

注射模常用的标准导柱有带头导柱和有肩导柱两种形式。带头导柱的结构形式如图 3-63(a)(b)(c)所示，其结构简单，制造容易；有肩导柱的结构形式如图 3-63(d)(e)(f)所示，常用于大型或精度要求高、生产批量大的模具，一般与导套配合使用，导柱的固定轴肩与导套外径直径相等，便于导柱固定孔与导套固定孔的同时加工，以保证同轴度的要求，其中图 3-63(f)中的导柱用于固定板较薄的情况。

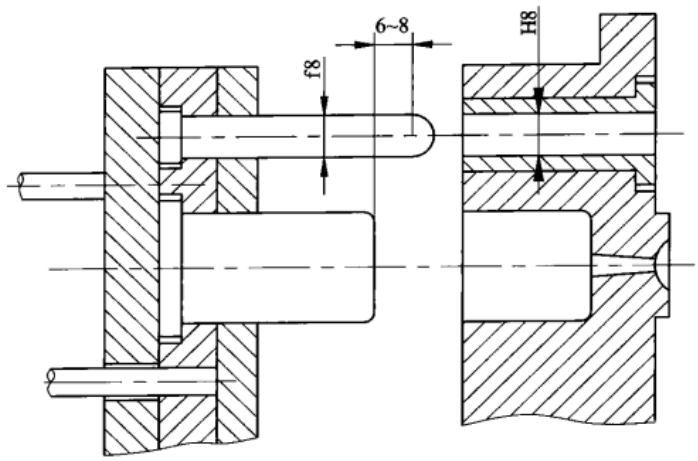


图 3-61　导柱导向机构

导柱前端面应做成锥台形或半球形，以使导柱能顺利进入导套(或导向孔)。导柱的导滑部分可根据需要加工出油槽，以便润滑和集尘。导柱导向部分的长度应比凸模端面高出 6～8 mm，以免出现导柱未导正方向而型芯先进入型腔的情况。为使导柱表面具有良好的耐磨性而芯部坚韧，导柱的材料多选用 20 钢(表面渗碳淬火处理)或 T8，T10 钢(淬火处理)，硬度为 50～55HRC。导柱固定部分的表面粗糙度为 $R_a=0.8\ \mu m$，导向部分的表面粗糙度为 $R_a=0.8\sim0.4\ \mu m$。导柱固定部分与模板之间一般采用 H7/m6 或 H7/k6 的过渡配合。

2) 导　套

注射模常用的标准导套有直导套和带头导套两种形式。直导套的结构形式如图 3-63(c)(d)所示，其结构简单，制造方便，用于小型简单模具；带头导套的结构形式如图 3-63(b)(e)(f)所示，结构较复杂，主要用于精度要求高的大型模具。对于小批量生产、精度要求不高的模具，可直接采用导向孔。

导套的前端应倒圆角，以使导柱顺利进入导套。为保证孔中气体顺利排出，导套(或导向孔)最好做成通孔。导套可选用与导柱相同的材料或铜合金等耐磨材料，但其硬度应比导柱略低，以减轻磨损。导套固定部分表面粗糙度为 $R_a=0.8\ \mu m$。直导套固定部分与模板之间可采用 H7/n6 的过渡配合或较松的过盈配合，为保证导套的牢固性，可采用止动螺钉紧固，如图 3-62 所示。带头导套与模板之间则采用 H7/m6 或 H7/k6 的过渡配合。

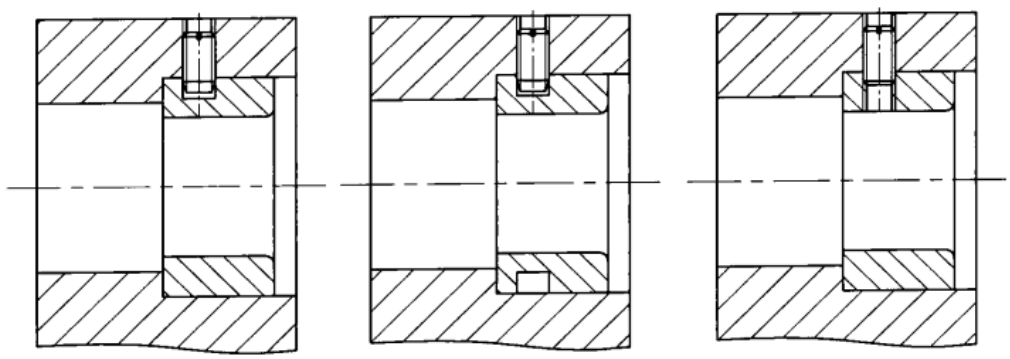


图 3-62　直导套的固定形式

3）导柱与导套(或导向孔)的配合形式

导柱与导套的配合形式可根据模具的结构及生产要求而定，常见的配合形式如图 3－63 所示。图 3－63(a)为导柱与导向孔的配合形式，图 3－63(b)(c)(d)(e)(f)为导柱与导套的配合形式。导柱与导套(或导向孔)的配合精度通常采用 H7/f7 或 H8/f7。

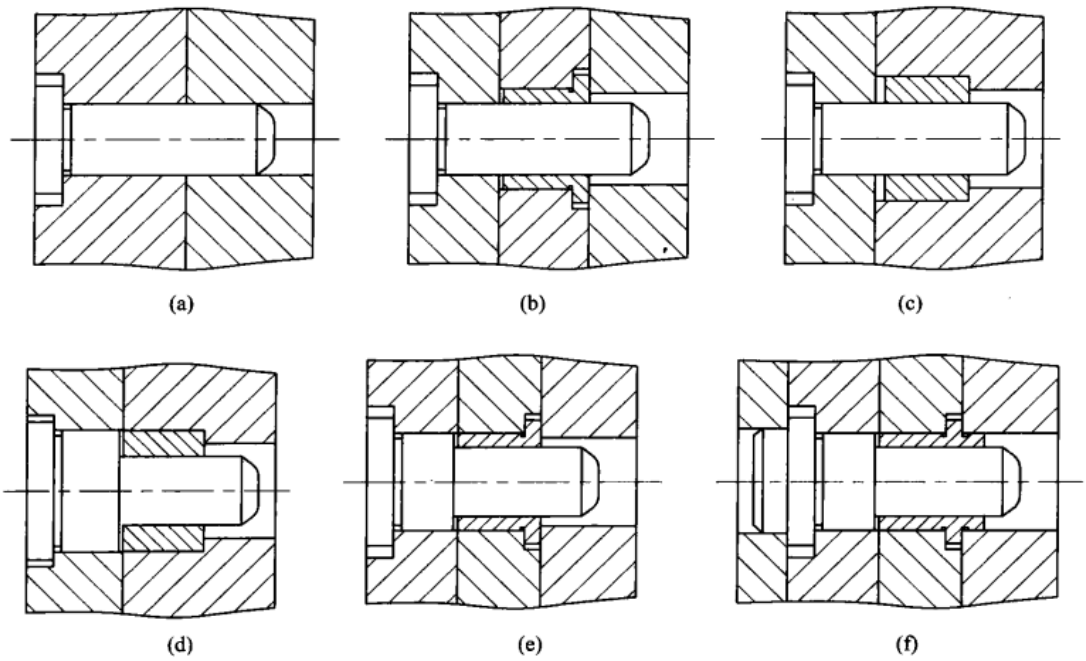


图 3－63　导柱与导套的配合形式

(3) 锥面定位机构

当成型大型深腔薄壁和高精度塑件时，动、定模之间需要较高的合模定位精度，另外在注射成型过程中往往会产生较大的侧向压力，如果完全由导柱来承担，会造成导柱变形，甚至折断或卡死，这时需增设锥面定位机构。图 3－64 所示为锥面定位机构，该机构有两种形式，一种是在两锥面之间镶上经过淬火的零件；另一种是两锥面直接配合，这时两锥面都需淬火处理，角度 5°～20°，高度为 15 mm 以上。

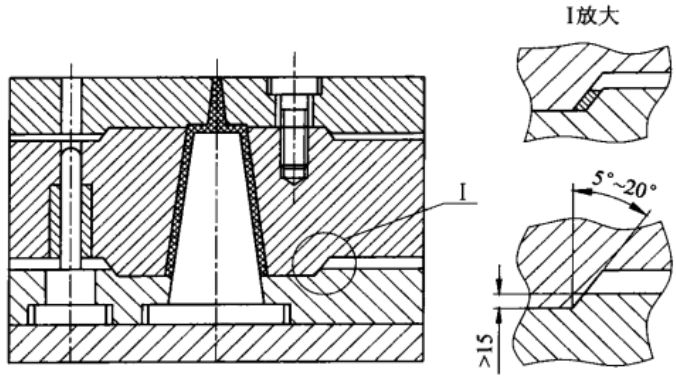


图 3－64　锥面定位机构

3.3.9　推出机构设计

1. 推出机构的组成及分类

(1) 推出机构的组成

图 3－65 所示为典型推出机构的结构形式。一般推出机构由以下几部分组成：

1) 推出元件

推出元件的作用是推出塑件，并使塑件脱模。常用的有推杆、推管、推件板、成型推杆等。图 3－65中的推杆 2、拉料杆 8 均为推出元件。

2) 复位元件

复位元件是为了使推出机构在合模时能回到原来的位置而设置的。复位元件有复位杆、能起复位作用的卸料板、复位弹簧等。图 3－65 中的复位杆 9 为复位元件。

3) 结构元件

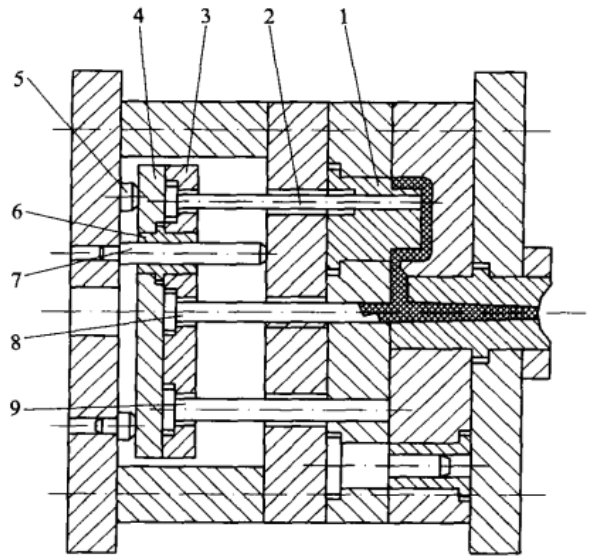
使推出机构各元件装配成一体，起固定作用。结构元件有推板、推杆固定板、其他连接件等。图 3－65 中的推板 4 和推杆固定板 3 为结构元件。

4) 导向元件

引导推出机构的运动方向，支承推板和推杆固定板等零件。导向元件有推板导柱(导钉、导杆支柱)、推板导套等。图 3－65 中的推板导柱 7 和推板导套 6 是导向元件。

5) 限位元件

限位元件使推板与动模座板之间形成间隙，易保证平面度，还可以通过支承钉厚度的调节来调整推杆的位置及推出距离。图 3－65 中的支承钉 5 为限位元件。



1—型芯；2—推杆；3—推杆固定板；4—推板；5—支承钉；6—推板导套；7—推板导柱；8—拉料杆；9—复位杆

图 3－65　推出机构

(2) 推出机构的分类

1) 按动力来源分

① 手动推出机构

模具开模后，由人工操作推出机构来推出塑件，它可分为模内手工推出和模外手工推出两种。

② 机动推出机构

利用注射机的开模动作驱动推出机构，实现塑件的自动脱模。

③ 液压或气动推出机构

利用注射机上的专用液压或气动装置，将塑件推出或从模具中吹出。

2) 按推出元件的类别分

推出机构可分为推杆推出机构、推管推出机构、推件板推出机构等。

3) 按模具的结构特征分

推出机构可分为简单推出机构(包括推杆推出机构、推板推出机构、推件板推出机构、活动

镶件及凹模推出机构等)和复杂推出机构(包括二级推出机构、双向推出机构、浇注系统凝料的脱模机构、带螺纹塑件的脱模机构等)。

2. 常见推出机构

(1) 简单推出机构

简单推出机构又称一次推出机构,是指塑件在推出机构的作用下,通过一次动作就可脱出模外。此类推出机构最为常见,应用也最为广泛。

1) 推杆推出机构

推杆推出机构是推出机构中最简单、最常用的一种形式,其典型结构如图 3-65 所示。工作过程是:开模时,动模部分向后移动,包在型芯 1 上的塑件与拉料杆拉动的浇注系统凝料一同随动模后移。若是机动顶出,则当推板 4 与注射机的顶杆接触时,推出机构停止不动,动模继续后移,推杆 2 与动模之间就产生了一个相对移动,将塑件从动模的型芯上推出。

常见的推杆形状结构如图 3-66 所示,其截面形状应根据塑件的几何形状、型腔和型芯结构的不同来设定,常用的推杆截面形状是圆形。设计时不管采用何种形状,都要考虑到要有足够的刚性,以防止推出时变形。

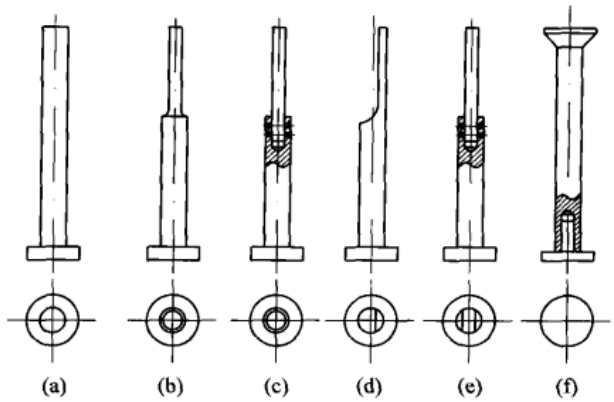


图 3-66 推杆的形状结构

常用的推杆固定形式如图 3-67 所示。图 3-67(a)的安装固定形式最为常用,可用于各种带台肩形式的推杆;图 3-67(b)是用垫块或垫圈来代替固定板上的沉孔,可使加工简化;图 3-67(c)是推杆后端用螺塞固定的形式,适用于固定板较厚的场合;图 3-67(d)是用螺钉紧固的形式,适用于粗大的推杆。

推杆的工作端与模板或型芯上推杆孔的配合常采用 H8/f7 或 H8/f8 的间隙配合,配合长度视推杆直径的大小而定,推杆配合部分的表面粗糙度 $R_a \leqslant 0.8\ \mu m$。推杆固定端与推杆固定板通常采用单边 0.5 mm 的间隙。推杆的材料常用 T8,T10 等碳素工具钢(热处理要求硬度 50～54HRC)或 65Mn 弹簧钢(热处理要求硬度 46～50HRC)。

2) 推管推出机构

推管推出塑件的运动方式与推杆基本相同,它适用于环形、筒形塑件或局部是筒形塑件的推出,其特点是推出力均匀,塑件不易变形,也不会留下明显的推出痕迹,主型芯和凹模可同时设在动模一侧,有利于提高塑件的同轴度。

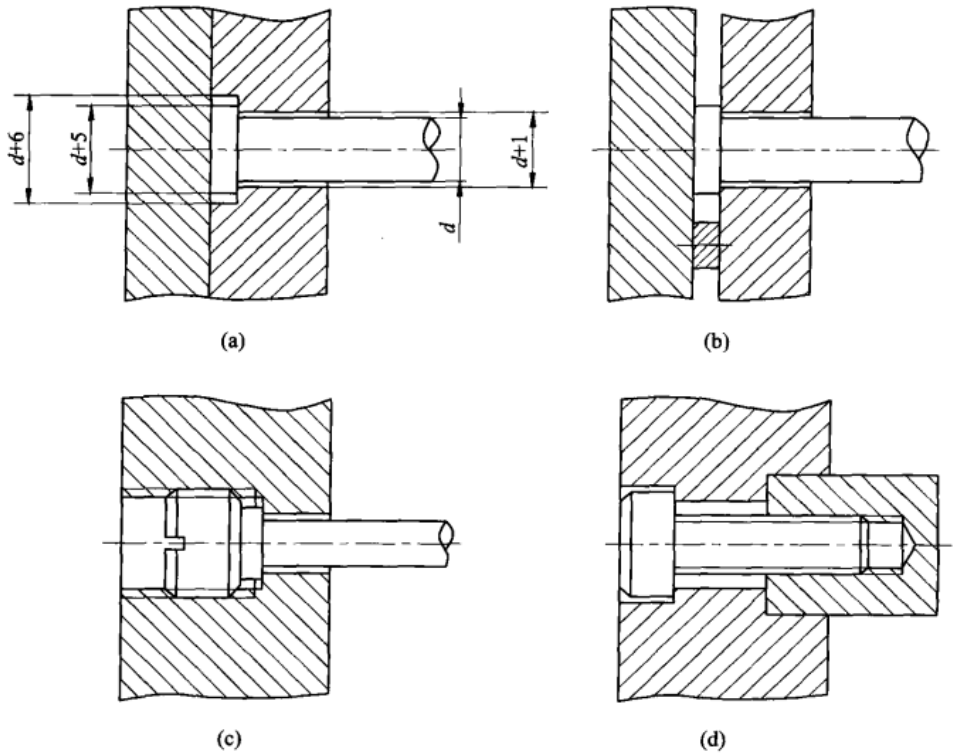


图 3-67　推杆的固定形式

常见的推管推出机构如图 3-68 所示。图 3-68(a)所示的形式为推管固定在推杆固定板上，而型芯固定在动模座板上，这种形式结构可靠，型芯较长，多用于推出距离不大的场合；图 3-68(b)是推管上开长槽，用键或销将型芯固定在模板上，这种形式型芯较短，模具结构紧凑，适用于型芯较长的场合；图 3-68(c)所示的形式是推管在型腔板内移动，这种形式可缩短推管和型芯的长度。

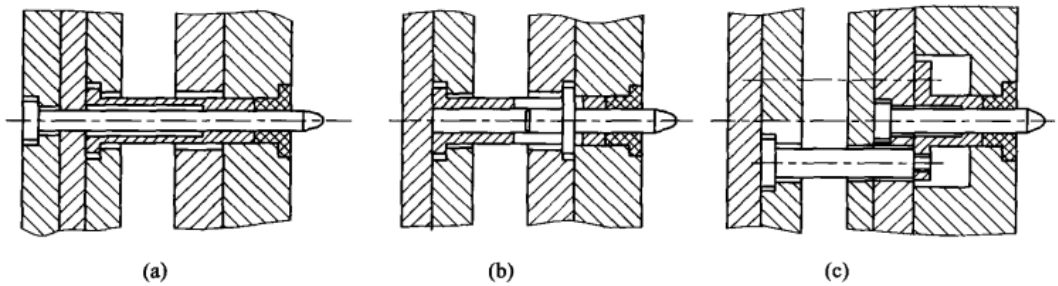
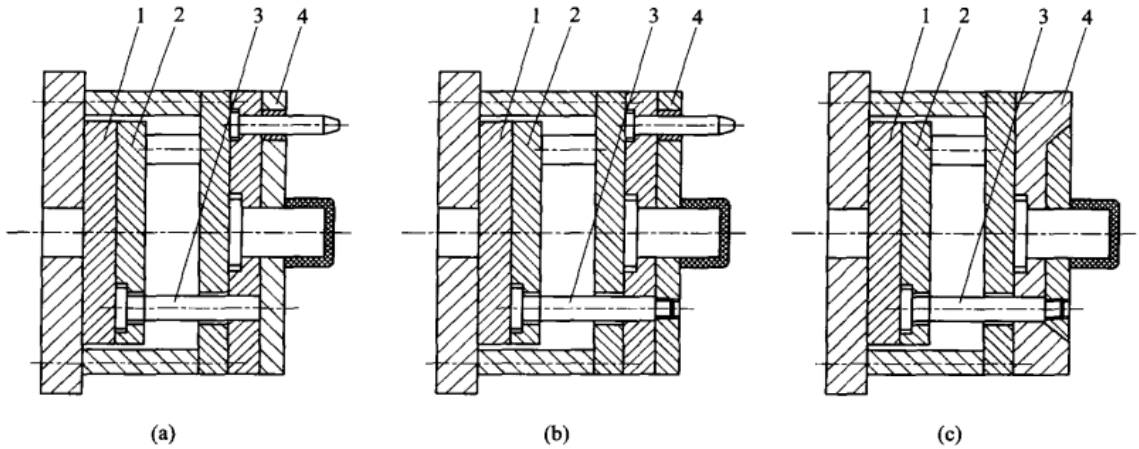


图 3-68　推管推出机构

推管的固定与推杆的固定类似。推管的内径与型芯的配合，当直径较小时选用 H8/f7 配合，当直径较大时选用 H7/f7 的配合；推管外径与模板上孔的配合，当直径较小时选用H8/f8 配合，当直径较大时选用 H8/f7 的配合。推管与型芯的配合长度应比推出行程长 3～5 mm，与模板的配合长度为推杆直径的 1.5～2 倍。推管的材料、硬度要求及配合部分的表面粗糙度要求与推杆相同。

3）推件板推出机构

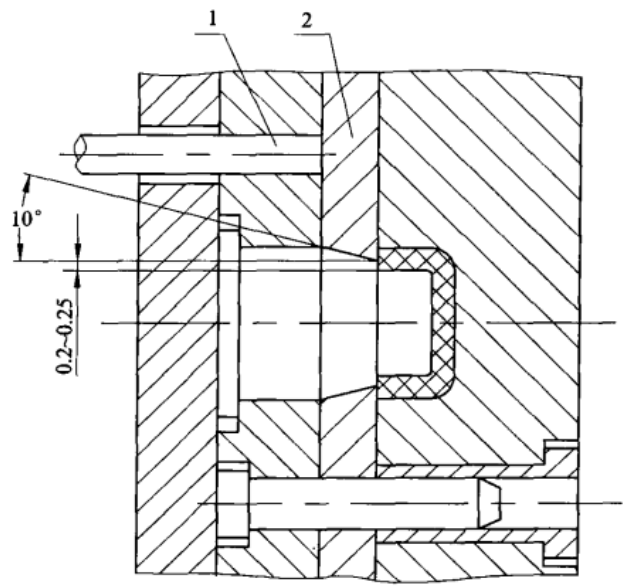
推件板推出机构是在型芯的根部安装了一块与之配合的推件板，工作时，由推杆推动推件板，在塑件的整个周边端面上进行推出，其工作过程与推杆推出机构类似。这种推出机构作用面积大，推出力大而均匀，运动平稳，并且在塑件上无推出痕迹，常用于薄壁容器及各种罩壳类塑件。推件板的常用材料为45钢，热处理硬度要求为28～32HRC。图3-69所示为几种常见的推件板推出机构的结构形式。



1—推板；2—推杆固定板；3—推杆；4—推件板

图3-69　推件板推出机构

在推件板推出机构中，为了减少推件板与型芯的摩擦，可采用图3-70所示的结构形式，推件板与型芯间留有0.2～0.25 mm的间隙，并用锥面配合，以防止推件板因偏心而溢料。



1—推杆；2—推件板

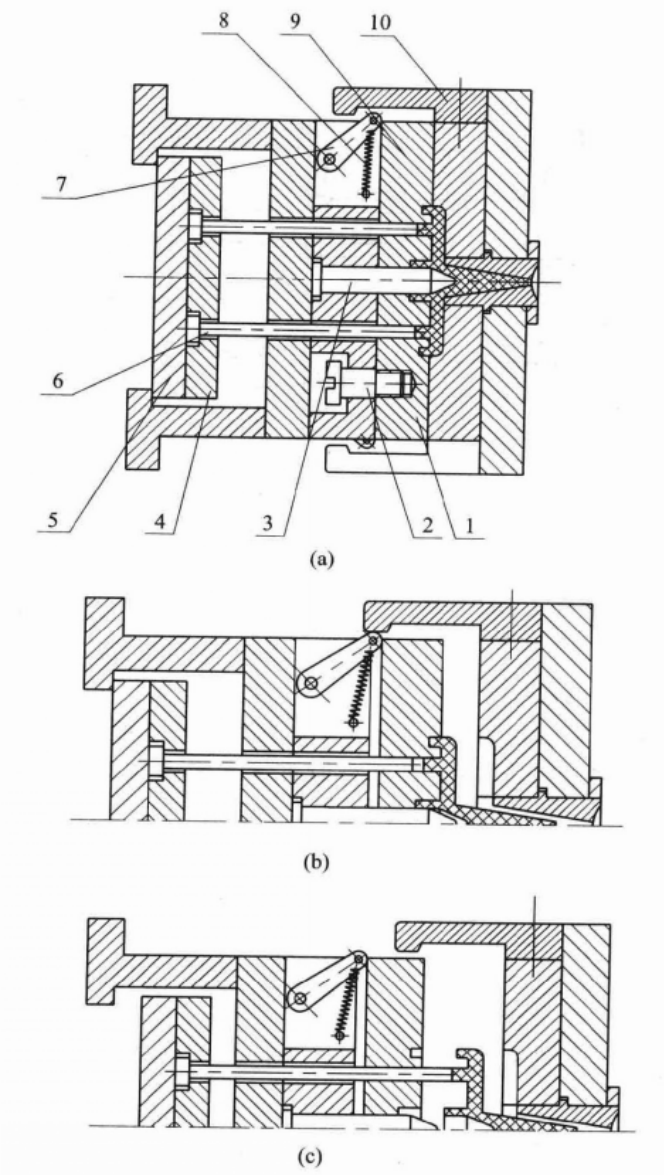
图3-70　推件板推出机构的改进形式

（2）复杂推出机构

1）二级推出机构

有些塑件的形状特殊，一次推出动作完成后，塑件难以全部脱模，有时会造成塑件变形，甚至破坏，此时可采用二次推出，以分散脱模力。这类推出机构称为二级推出机构，这类推出机构的结构形式很多。

图 3－71 为摆杆拉板式二级推出机构。第一次推出由固定在动模的摆杆和固定在定模的拉板来实现，第二次推出由推杆来完成。图 3－71(a)为合模状态；开模移动到一定距离后时，拉板 10 带动摆杆 7 迫使推件板 9 移动，塑件从型芯 3 上脱出，完成第一次推出，如图 3－71(b)



1—型芯固定板；2—定距螺钉；3—型芯；4—推杆固定板；5—推板；6—推杆；7—摆杆；8—弹簧；9—推件板；10—拉板

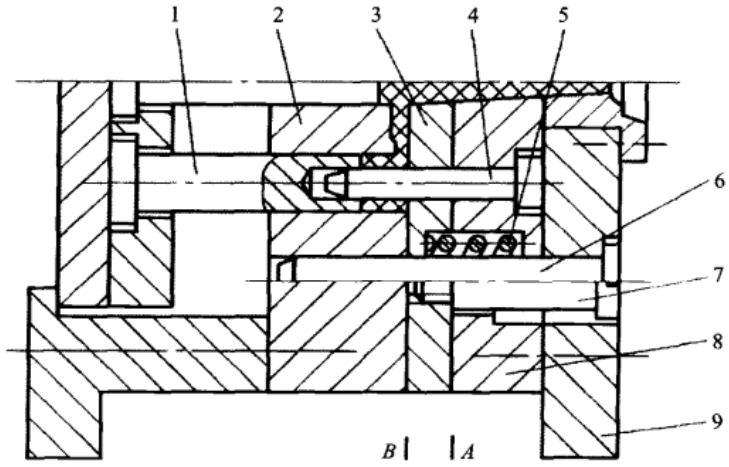
图 3－71　摆杆拉板式二级推出机构

所示；动模部分继续后移到一定距离，推杆 6 将塑件从动模型腔中推出，完成第二次推出，如图 3－71(c)所示。

2）双向推出机构

有些塑件因其自身的形状特点，开模后塑件既可能留在动模一侧，也可能留在定模一侧，这时为了能让塑件顺利脱模，可采用动、定模两侧均设置推出机构。

图 3－72 所示为弹簧式双向推出机构。开模时，弹簧 5 压在定模推件板 3 上，迫使推件板 3 与动模部分一起向后移动，在 A 分型面处分型，塑件被从型芯 4 上推出而留在动模板 2 内，当定距螺钉 7 端部与定模板 8 接触时，注射模开始在 B 分型面分型，直至推管 1 动作，将塑件从动模板 2 的型腔内推出。



1—推管；2—动模板；3—定模推件板；4—型芯；5—弹簧；6—导柱；7—定距螺钉；8—定模板；9—定模座板

图 3－72　弹簧式双向推出机构

3）带螺纹塑件的脱模机构

带螺纹塑件的脱模机构按动力来源可分为手动脱模和机动脱模。当塑件采用旋转方式脱螺纹时，无论是手动还是机动脱模，在设计塑件时都需考虑塑件必须带有止转结构，图 3－73 所示为螺纹塑件上带有止转结构的例子。

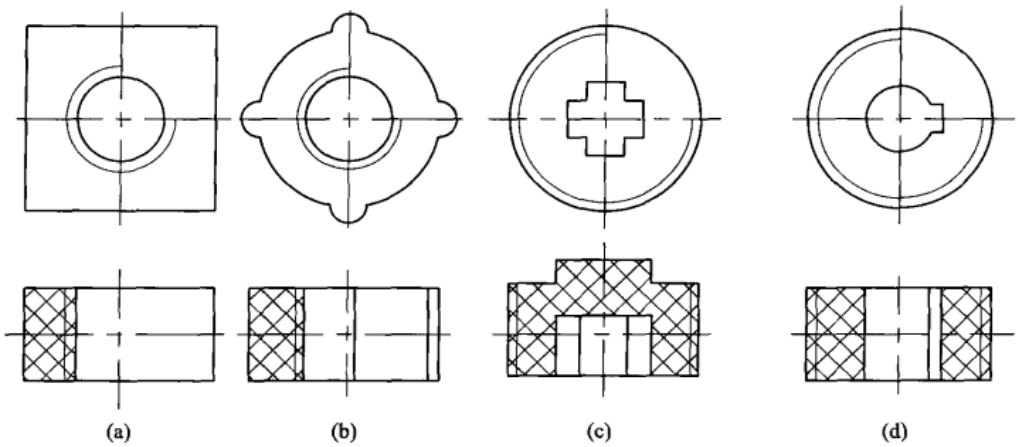


图 3－73　塑件上的止转结构

手动脱螺纹主要有机内和机外两种形式。图 3－74(a)所示为机内形式，塑件成型后，先手动拧下螺纹型芯，再由推出机构将塑件推出；图 3－74(b)所示为机外形式，开模时螺纹型芯随塑件一起脱模，在模外由人工将螺纹型芯拧下来。而机动脱螺纹是利用开模时的直线运动，通过齿轮齿条或开合模丝杆的传动，带动螺纹型芯作旋转运动而脱模，图 3－23 是机动脱螺纹的一种形式。

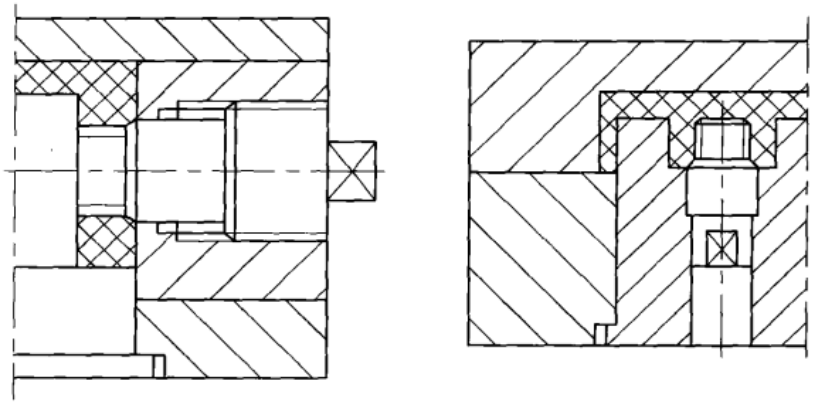


图 3－74　手动脱螺纹机构

3.3.10　侧向分型与抽芯机构设计

当塑件带有与开模方向不一致的侧凹、侧凸或侧孔时，在脱模之前必须先抽出侧向成型零件，否则无法脱模，合模时又要将其复位，实现这种侧向成型零件抽出与复位的机构称为侧向分型与抽芯机构。

1. 侧向分型与抽芯机构的组成及分类

(1) 侧向分型与抽芯机构的分类

按动力来源的不同，侧向分型与抽芯机构可分为以下三大类：

1) 手动侧向分型与抽芯机构

手动侧向分型与抽芯机构是在开模前或开模后在模外由人工将侧向成型零件从塑件中抽出。这种方式的模具结构简单，制造方便，但劳动强度大，生产率低，只适用于小批量或试制性生产的场合。

2) 液压或气动侧向分型与抽芯机构

液压或气动侧向分型与抽芯机构是以液压力或压缩空气作为侧向分型与抽芯的动力。这种方式抽拔力大，抽芯距也较长，传动平稳，但需配置专门的液压或气动系统，成本较高，多用于大型注射模的抽芯。

3) 机动侧向分型与抽芯机构

机动侧向分型与抽芯机构是在开模时利用注射机的开模力，通过传动件使侧向成型零件完成侧向分型或抽芯。这种方式虽然使模具结构复杂，但抽拔力大，生产效率高，操作方便，容易实现自动化生产，且不需另外添加设备，实际生产中应用广泛。机动侧向分型与抽芯机构按结构形式不同又可分为斜导柱侧向分型与抽芯机构、斜滑块侧向分型与抽芯机构、弯销侧向分

型与抽芯机构和齿轮齿条侧向分型与抽芯机构等。

(2) 侧向分型与抽芯机构的组成

以图 3-75 所示的斜导柱侧向分型与抽芯机构为例，侧向分型与抽芯机构一般由以下几部分组成：

1) 侧向成型元件

侧向成型元件是成型塑件侧凹、侧凸或侧孔的零件。如图 3-75 中的侧型芯 5。

2) 运动元件

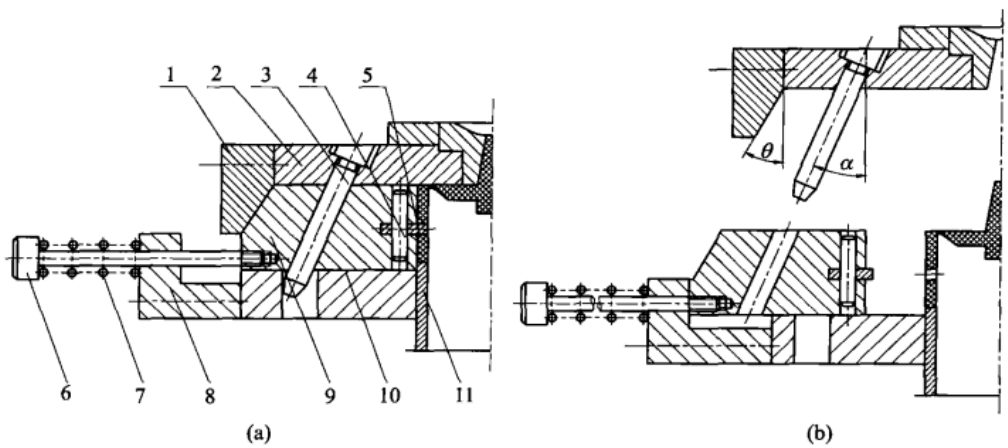
运动元件用于安装侧向成型零件，并带动侧向成型零件沿导滑槽运动。如图 3-75 中的滑块 9。

3) 传动元件

传动元件的作用是在开模时带动运动元件实现侧向分型或抽芯，合模时使运动元件及侧向成型元件复位。如图 3-75 中的斜导柱 3。

4) 锁紧元件

锁紧元件的作用是保证侧向成型元件在成型时受到压力不产生移动。如图 3-75 中的楔紧块 1。



1—楔紧块；2—定模板；3—斜导柱；4—销钉；5—侧型芯；6—螺钉；7—弹簧；8—限位挡块；9—滑块；10—动模板；11—推管

图 3-75　斜导柱侧向分型与抽芯机构

2. 常见侧向分型与抽芯机构

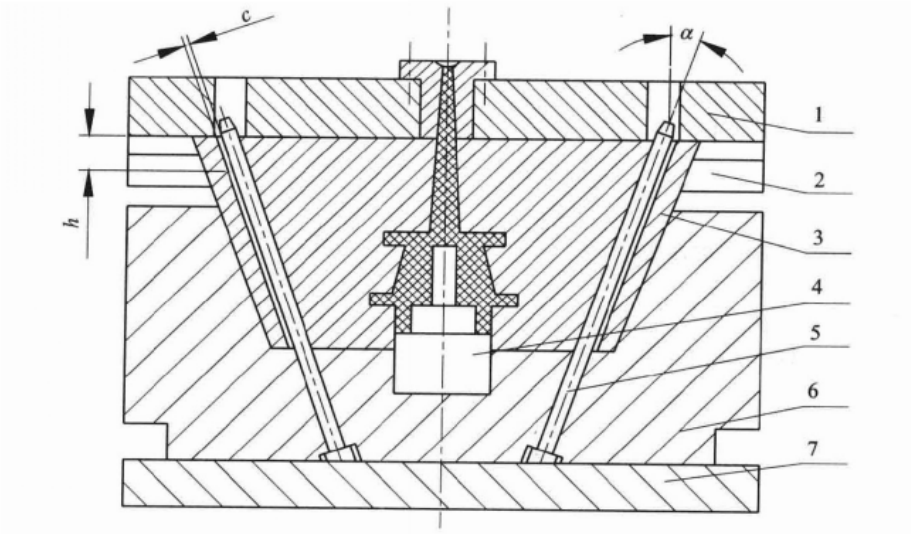
(1) 斜导柱侧向分型与抽芯机构

斜导柱侧向分型与抽芯机构是生产中最常用的一种抽芯机构，它是利用斜导柱等零件把开模力传递给侧型芯，使之产生侧向移动来完成抽芯动作。

图 3-75 所示为斜导柱在定模、滑块在动模的侧向分型与抽芯结构，其动作原理为：图 3-75(a)为注射结束合模状态，侧滑块 9 由楔紧块 1 锁紧。开模时，动模部分后移，开模力通过斜导柱作用于侧滑块，使滑块带动侧型芯 5 在动模板的导滑槽内向外移动，完成侧抽芯动作，塑件再由推管 11 推出，如图 3-75(b)所示。侧向分型与抽芯结束，斜导柱脱离侧滑块，侧滑块被弹簧拉紧靠在限位挡块上，以便合模时导柱能准确地插入侧滑块的斜导孔中，使其

复位。

图 3－76 所示为斜导柱在动模、滑块在定模的侧向分型与抽芯结构，该模具的特点是没有推出机构，凹模制成可侧向移动的瓣合式滑块，斜导柱与凹模侧滑块上的斜导孔之间存在着较大间隙 c($c=1.6\sim3.6$ mm)。其动作原理为：开模时，在凹模侧滑块 3 移动之前，动、定模首先分开一段距离 h($h=c/\sin\alpha$)，使型芯 4 从塑件中脱出 h 距离，然后凹模侧滑块在斜导柱的带动下分开而脱离塑件，最后由人工将塑件取出。



1—定模座板；2—导滑槽；3—凹模侧滑块；4—型芯；5—斜导柱；6—动模板；7—动模座板

图 3－76　斜导柱在动模、滑块在定模的侧向分型与抽芯机构

1) 斜导柱的设计

斜导柱的结构形式主要有圆形断面和矩形断面 2 种，如图 3－77 所示。图 3－77(a)是圆形断面的斜导柱，其特点是结构简单，制造方便，装配容易，故应用较广；图 3－77(b)是矩形断面的斜导柱，其特点是强度较高，承受的作用力较大，但制造难度大，不易装配。

斜导柱固定端与模板之间采用 H7/m6 的过渡配合，工作端与侧滑块之间留有 0.5～1 mm的间隙。斜导柱的材料多为 45，T8，T10 钢以及 20 钢渗碳处理等，淬火硬度在 55HRC 以上，表面粗糙度 $R_a\leqslant0.8$ μm。

① 斜导柱倾斜角 α 的确定

斜导柱倾斜角 α 是斜导柱轴向与开模方向的夹角。如图 3－78 所示，倾斜角 α 的大小关系到斜导柱的有效工作长度 L、抽芯距 S、开模行程 H 以及受力状况等，是决定其抽芯工作效果的重要参数。理论上 α 值取 22°30′比较理想，一般在设计时取 $\alpha<25°$，常用的值为 $\alpha=15°\sim20°$。

② 斜导柱直径的计算

由于计算比较复杂，所以在实际设计当中，经常采用查表法确定斜导柱的直径。先按抽芯力 F_c(脱模力 F_t)和斜导柱的倾斜角 α 在表“最大弯曲力与抽芯力和斜导柱倾斜角的关系”中查出最大弯曲力 F_w，然后根据 F_w 和 H_w(侧型芯滑块所受的脱模力作用线与斜导柱中心线的交点到斜导柱固定板的距离)以及倾斜角 α 在表“斜导柱倾斜角 α、高度 H_w、最大弯曲力 F_w、斜导柱直径 d 的关系”中查出斜导柱的直径。

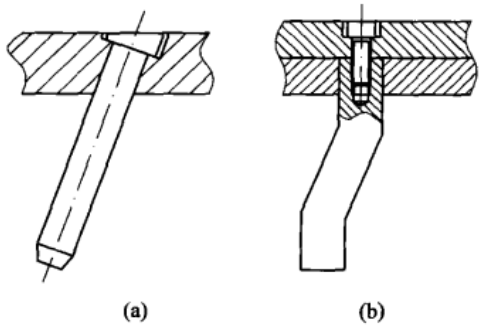


图 3-77　斜导柱的形式

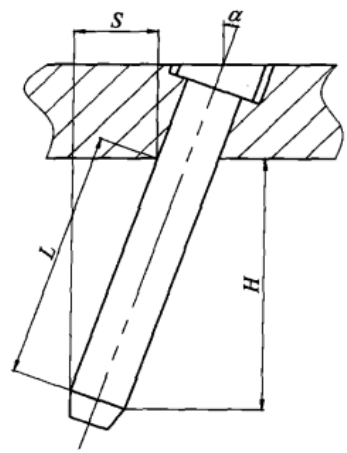


图 3-78　斜导柱的倾斜角、工作长度、抽芯距、开模行程

③ 斜导柱长度的计算

圆形断面斜导柱长度可根据抽芯距 S、斜导柱直径 d、固定台肩直径 D、倾斜角 α 以及斜导柱固定板厚度 h 来确定。如图 3-79 所示，斜导柱的长度为：

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 = \frac{D}{2}\mathrm{tg}\alpha + \frac{h}{\cos\alpha} + \frac{d}{2}\mathrm{tg}\,\alpha + \frac{s}{\sin\alpha} + (5 \sim 10)\ \mathrm{mm} \tag{3-31}$$

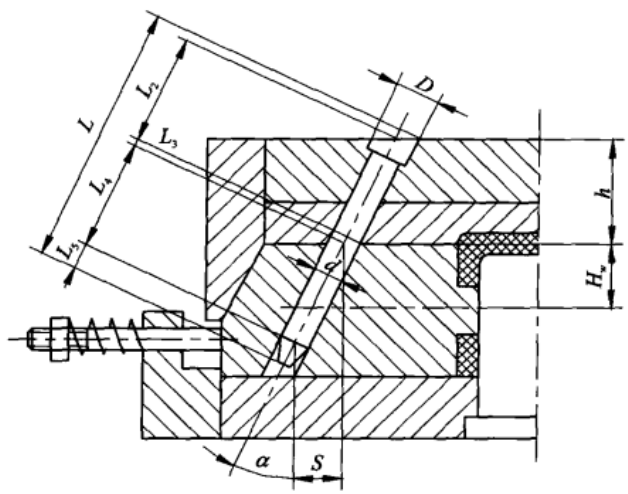


图 3-79　斜导柱的长度

2）滑块的设计

滑块的结构有整体式和组合式两种。在滑块上直接加工出侧向成型零件的结构为整体式，这种结构仅适用于形状十分简单的侧向成型零件；组合式是将滑块与侧向成型零件分开加工，然后装配在一起，这种形式既节省优质钢材，又容易加工，应用较为广泛。常见的组合式滑块与侧型芯联接方式如图 3-80 所示。图 3-80(a)适用于小型芯；图 3-80(b)采用螺纹配合，并用销钉止转，用于尺寸较大的圆型芯；图 3-80(c)采用螺钉顶紧的方式，用于直径较小

的型芯；图 3－80(d)是侧型芯采用燕尾槽直接镶入滑块中的形式；图 3－80(e)是将薄片状侧型芯镶入通槽并加销钉固定；图 3－80(f)适用于多个小型芯的形式，可用固定板安装固定。

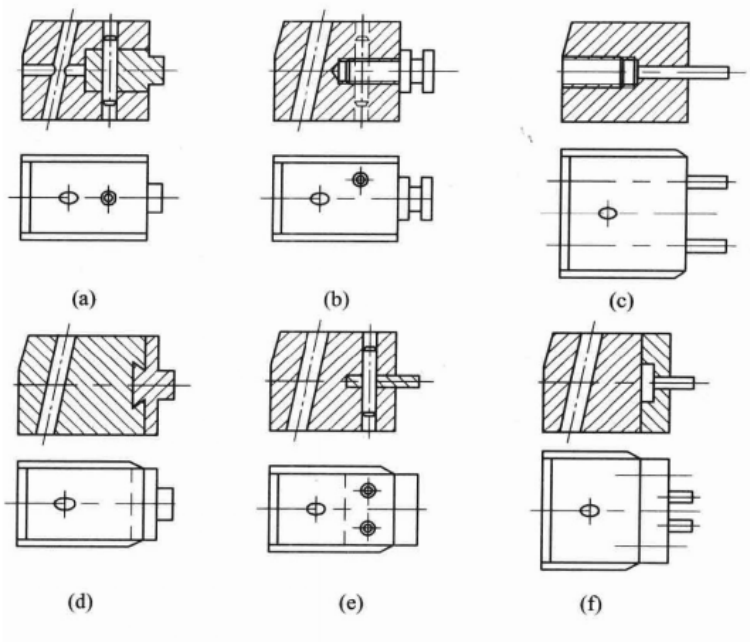


图 3－80　侧型芯与滑块的联接方式

侧型芯是成型零件，材料多为 45，T8，T10 钢以及 CrWMn 等，淬火硬度在 50HRC 以上(45 钢应在 40HRC 以上)，侧滑块采用 45，T8，T10 钢等制造，硬度要求 40HRC 以上。

3) 导滑槽的设计

为了实现侧向分型抽芯与复位，确保滑块在移动过程中平稳，无上下窜动和卡死现象，滑块在导滑槽内必须很好地配合和导滑。导滑槽的结构形式根据侧型芯的大小、结构及塑件产量的不同而不同，常用的结构形式如图 3－81 所示。

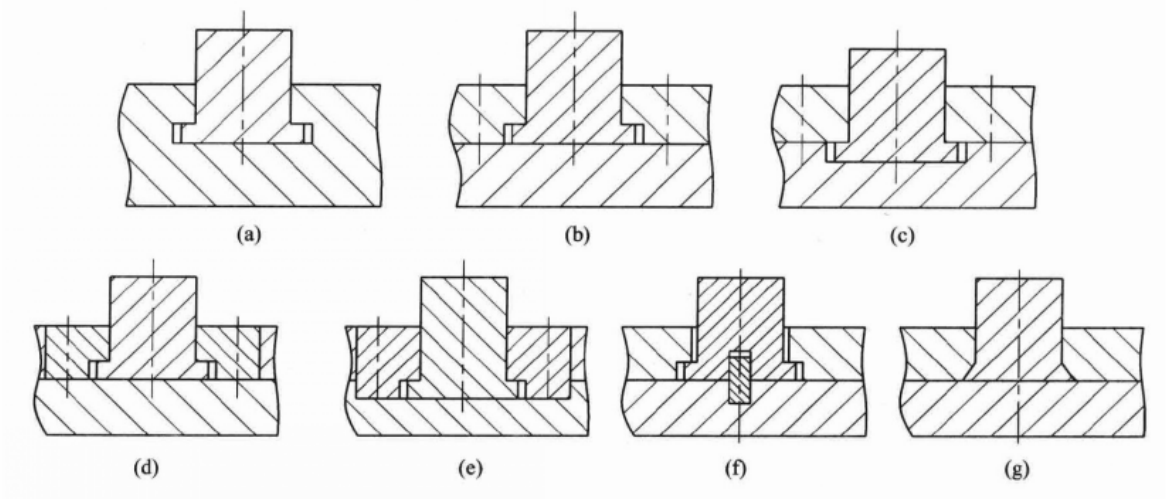


图 3－81　导滑槽的结构形式

滑块与导滑槽导滑部分的配合一般采用 H8/f8 的间隙配合，为提高配合精度，可采用

H8/f7 或 H8/g7 的间隙配合，其余各处均应留 0.5 mm 左右的间隙。配合部分的表面粗糙度要求 $R_a \leqslant 0.8\ \mu m$。

4）滑块定位装置的设计

为了保证合模时斜导柱能准确地插入侧滑块的斜导孔中，在开模时，侧滑块脱离斜导柱时必须停留在正确的位置上。常用的侧滑块定位装置如图 3－82 所示。图 3－82(a)是向上抽芯的情况，为最常用的一种形式；图 3－82(b)所示为弹簧置于滑块内侧的形式，适用于侧抽芯距离较短的场合；图 3－82(c)是向下抽芯的情况，滑块靠自重定位；图 2－82(d)是利用弹簧定位销定位，其结构紧凑。

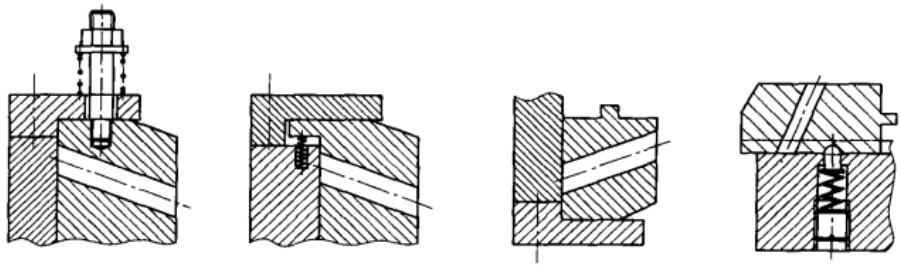


图 3－82　滑块的定位装置

5）楔紧块的设计

在注射成型过程中，侧型芯会受到型腔内熔融塑件较大成型压力的作用，这个力会通过滑块传递给斜导柱，使斜导柱很容易发生弯曲变形；另一方面，由于斜导柱与侧滑块上的斜导孔有较大的间隙，侧滑块的后移也会影响塑件的尺寸精度，因此，必须设置锁紧装置，常用为楔紧块。图 3－83 所示为楔紧块的结构形式。

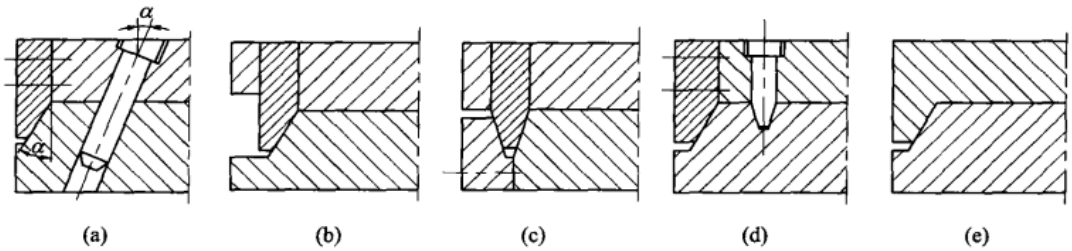


图 3－83　楔紧块的结构形式

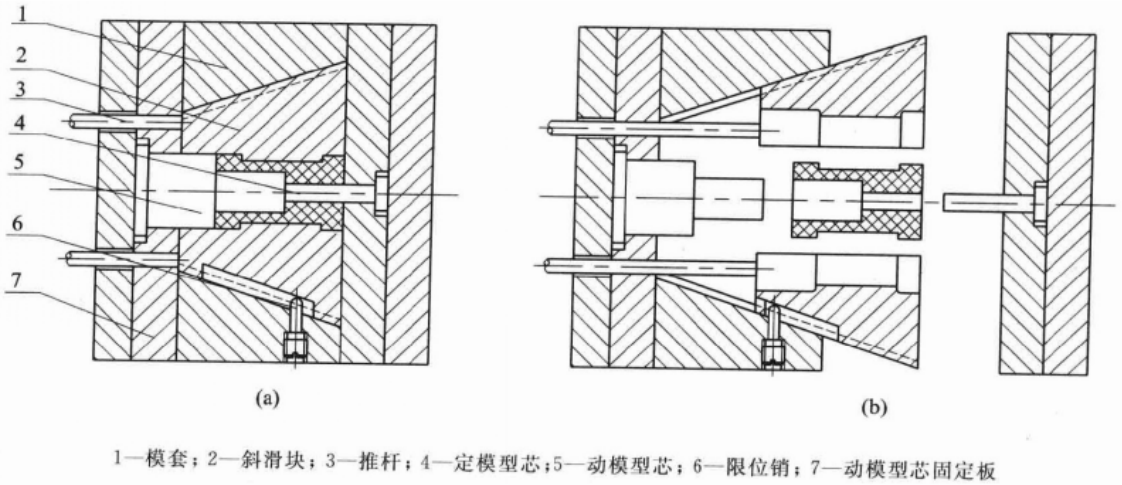
设计楔紧块时，楔紧块的楔角 α' 应大于斜导柱的倾斜角 α，否则开模时，楔紧块会影响侧向分型抽芯的进行。当侧滑块抽芯方向与开、合模方向垂直时，$\alpha' = \alpha + 2° \sim 3°$。

(2) 斜滑块侧向分型与抽芯机构

当塑件的侧凹较浅或侧凸较短，成型面积较大，所需抽芯距不大，但需要较大的抽芯力时，则可优先考虑斜滑块侧向分型与抽芯机构。该机构的特点是结构简单，安全可靠，制造方便，应用较广。一般可分为外侧分型抽芯和内侧分型抽芯两种形式。

图 3－84 所示为斜滑块导滑的侧向分型与抽芯机构的结构形式。图 3－84(a)为注射结束合模状态，斜滑块 2 为两块对开式凹模镶块，与模套上的斜向导滑槽成 H8/f8 的配合。开模时，塑件包紧在动模型芯 5 上与斜滑块一起后移，当推出机构工作时，在推杆 3 的作用下，斜滑

块 2 相对向前运动的同时沿模套斜向导滑槽向两侧分型，在斜滑块的带动下，塑件从动模型芯脱出。合模时，斜滑块的复位是靠定模板压斜滑块的右侧端面进行的。限位销 6 的作用是防止斜滑块在推出时从模套中滑出。



1—模套；2—斜滑块；3—推杆；4—定模型芯；5—动模型芯；6—限位销；7—动模型芯固定板

图 3-84　斜滑块侧向分型与抽芯机构

3.3.11　温度调节系统设计

模具温度是指模具型腔和型芯的表面温度。注射模的温度对塑料熔体的充模流动、硬化(固化)定型、生产效率及塑件的形状和尺寸精度都有很大的影响。注射模中设置温度调节系统的作用是通过控制模具温度，保证塑件的质量和提高生产效率。

1. 冷却系统设计

(1) 冷却水道设置的基本原则

① 在满足冷却所需的传热面积和模具结构允许的前提下，冷却回路数量应尽量多，冷却水道孔径尽量大，以保证冷却均匀。

② 冷却水道的布置应与塑件的结构相适应。塑件壁厚均匀时，冷却水道与型腔表面距离最好相等，如图 3-85(a)所示；塑件较厚的部位冷却水道至型腔表面的距离应近一些，如图 3-85(b)所示。冷却水道的孔壁至型腔表面的距离一般为 12～15 mm。

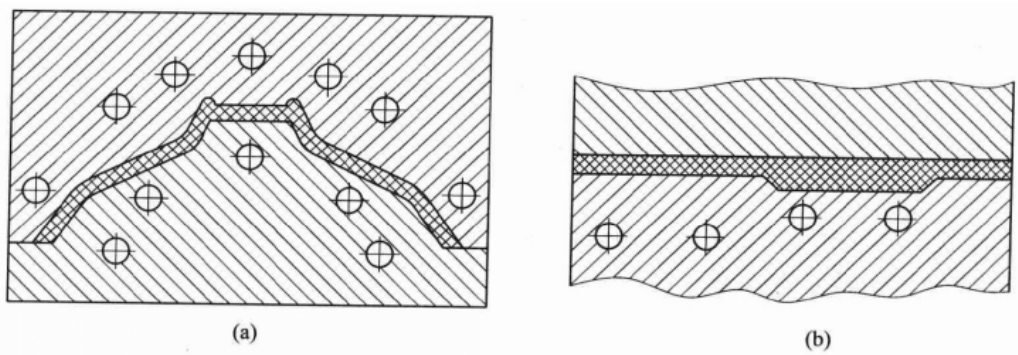


图 3-85　冷却水道的布置形式

③ 浇口处应加强冷却。浇口附近温度最高，因此浇口附近应加强冷却，冷却水口的设置

在浇口的附近，如图 3－86 所示。

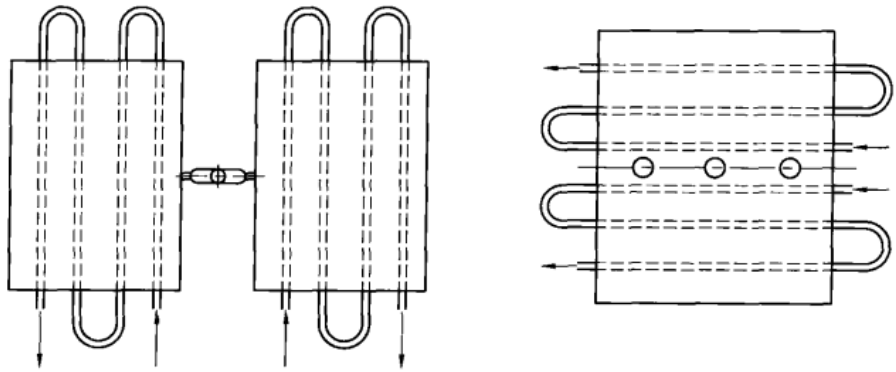


图 3－86　冷却水道出、入口布置

④ 减小入水和出水的温差。如果冷却水道较长，则入水与出水的温差就较大，这就造成模具温度分布不均匀。可以通过改变冷却水道的排列方式来减小这个温差，如图 3－87 所示。图 3－87(b)的形式比图 3－87(a)的形式好，降低了入水和出水的温差，提高了冷却效果。

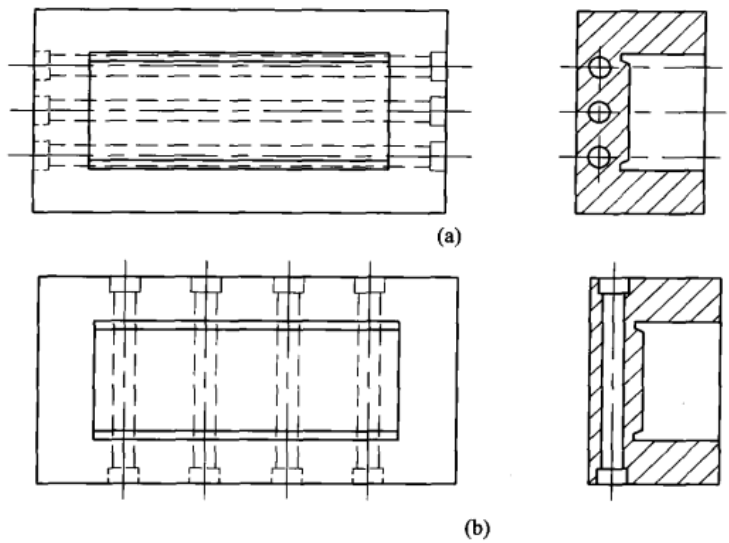


图 3－87　冷却水道的排列形式

⑤ 冷却水道内不应有存水和产生回流的部位，应畅通无阻。冷却水道直径一般为 8～10 mm。

⑥ 冷却水道要避免接近熔接痕部位，以免产生熔接痕，影响塑件的强度。

(2) 常见冷却水道的形式

1) 直流式

直流式冷却水道如图 3－88 所示。这种形式的冷却水道结构简单，加工容易，但模具冷却不够均匀，适于成型面积较大的塑件。

2) 直流循环式

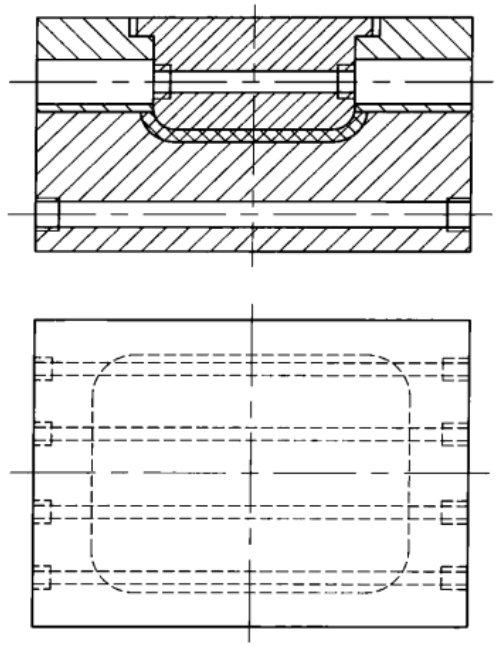


图 3－88　直流式冷却水道

直流循环式冷却水道如图 3－89 所示。这种形式的冷却水道同样结构简单，加工容易，但冷却效果比直流式还要差，适用于成型面积较大的浅型塑件。

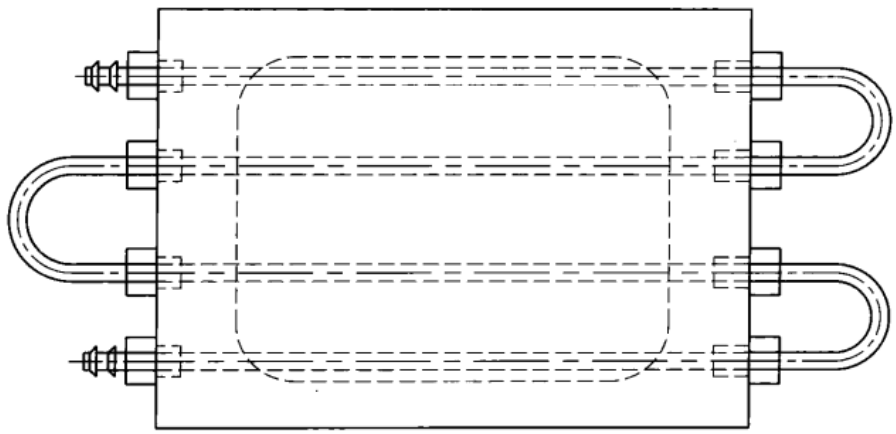


图 3－89　直流循环式冷却水道

3）循环式

循环式冷却水道如图 3－90 所示。这种形式冷却效果较好，适用于中小型的型芯和型腔。

4）喷流式

喷流式冷却水道如图 3－91 所示，冷却水从中心水管产生喷射进行冷却。这种形式结构简单，成本较低，冷却效果较好，既可用于小型芯的冷却，也可用于大型芯的冷却。

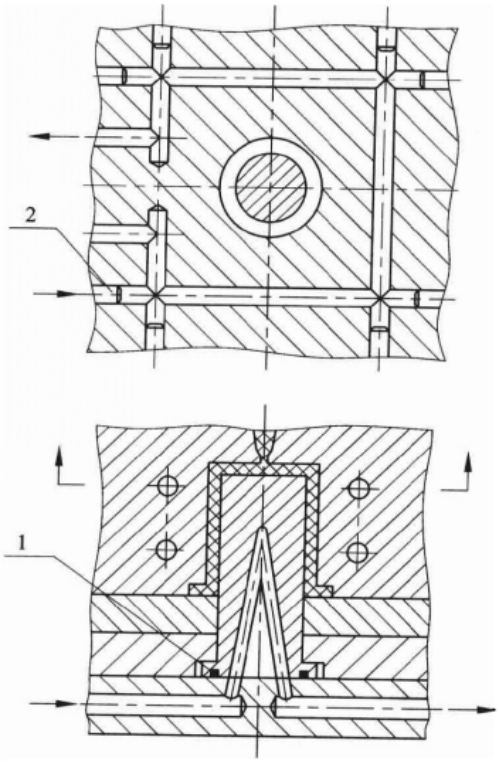


图 3－90　循环式冷却水道

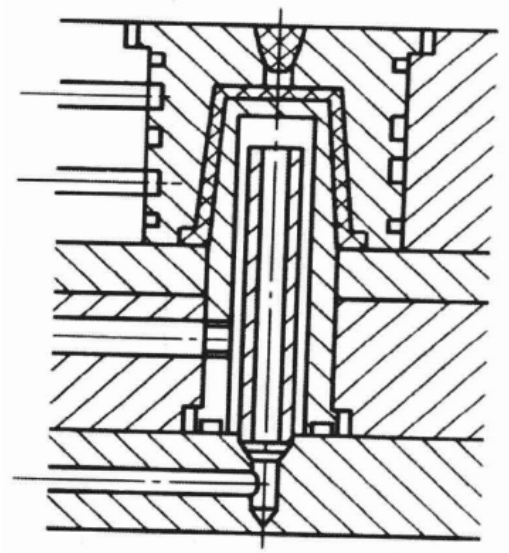


图 3－91　喷流式冷却水道

2. 加热系统设计

对于黏度高、流动性差的塑料，注射成型时要求模具温度在 80 ℃以上的，则需要对模具型腔进行加热；对于热固性塑件，其模具温度要加热到 160°～190 ℃。模具的加热方式有很多，如热水、热油、水蒸气、煤气加热和电加热等。如果加热介质采用各种流体，那么其设计方法类似于冷却水道的设计，这里不再赘述。目前普遍采用的是电加热温度调节系统，其主要方式有：

（1）电热丝直接加热

将合适的电热丝放入绝缘瓷管中装入模板的加热孔中，通电后就可对模具进行加热。这种加热方法结构简单，成本低廉，但电热丝与空气接触后易氧化，寿命较短，同时也不太安全。

（2）电热圈加热

将电热丝绕在云母片上，再装夹在特制的金属外壳中，电热丝与金属外壳之间用云母片绝缘，将它围在模具外侧对模具进行加热，如图 3－92 所示。电热圈加热的特点是结构简单，更换方便，缺点是耗电量大，这种加热装置更适合于压缩模和压注模。

（3）电热棒加热

电热棒是一种标准的加热元件，它是由具有一定功率的电阻丝和带有耐热绝缘材料的金属密封管组成，使用时只要将其插入模板上的加热孔内通电即可，如图 3－93 所示。电热棒加热的特点是使用和安装都很方便。

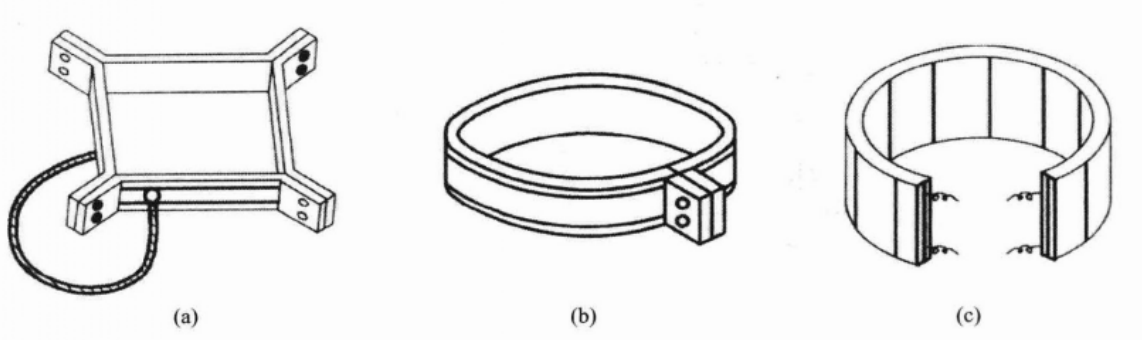
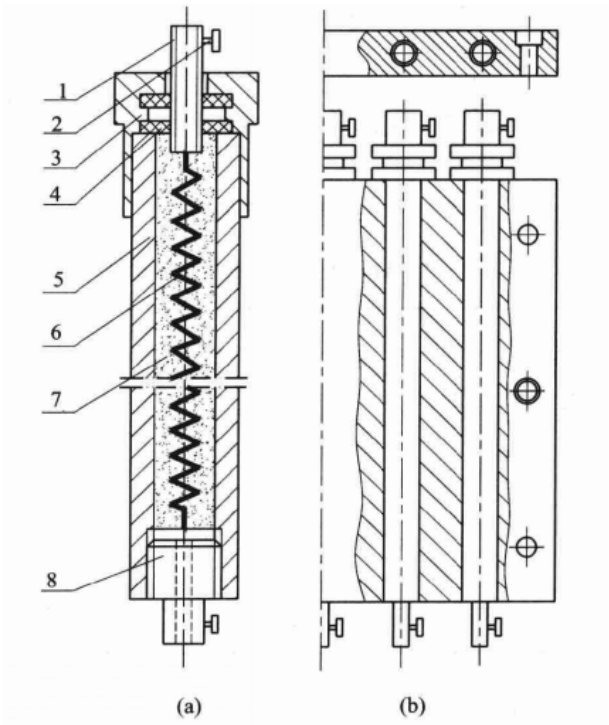


图 3-92　电热圈的形式



1—接线柱；2—螺钉；3—帽；4—垫圈；5—外壳；6—电阻丝；7—石英砂；8—塞子

图 3-93　电热棒及其在加热板内的安装

3.3.12　注射模设计实例

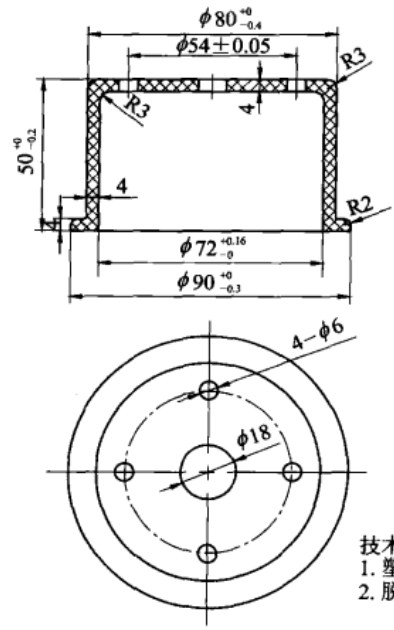
1. 设计任务书

设计如图 3-94 所示的塑料仪表盖的注射模。材料为 ABS，生产批量为 40 万件。技术要求：塑件不允许有裂纹和变形缺陷，脱模斜度为 0.5°，表面粗糙度 R_a 为 0.8 μm。

2. 收集、分析原始资料

(1) 收集原始资料

ABS 塑料性能及成型参数见表 3-7。



技术要求：
1. 塑件不允许有裂纹和变形缺陷
2. 脱模斜度0.5°

图 3-94　塑料仪表盖塑件图

表 3-7　ABS 塑料性能及成型参数表

密度/(g/cm³)		1.03～1.07	模具温度/℃		50～80
收缩率/(%)		0.3～0.8	注射压力/MPa		60～100
预热	温度/℃	80～85	工艺参数	注射时间	20～90
	时间/h	2～3		高压时间	0～5
料筒温度/℃	后段	150～170		冷却时间	20～120
	中段	165～180		总周期	50～220
	前段	180～200	螺杆转数(r/min)		30
喷嘴温度/℃		170～180	使用注射机类型		螺杆、柱塞均可

XS-ZY-125 注射机参数见表 3-8。

表 3-8　XS-ZY-125 注射机参数表

额定注射量/cm³	125	定位圈尺寸/mm	φ5.5
柱塞直径/mm	42	最大开模行程/mm	300
注射压力/MPa	119	模具最大厚度/mm	300
注射行程/mm	280	模具最小厚度/mm	145
注射方式	螺杆式	顶出方式	两侧顶出
合模力/kN	900	最大成型面积/ cm³	320
最大成型面积/cm²	320	动定模固定板尺寸/mm	428×458
拉杆空间/mm	260×290	机械外形尺寸/mm	3340×750×1 550

(2) 对塑件进行分析

1) 塑件的原材料分析

塑料制件采用 ABS 塑料，为热塑性塑料。其成型性能较好；流动性好；收缩率较小，为 0.3%～0.8%；有良好的机械强度、化学稳定性、电性能和较高的耐磨性、耐寒性、耐油性和耐水性；具有较高的尺寸稳定性；可在柱塞式或螺杆式卧式注射机上成型，注射速度采用中等射速。

2) 塑件的尺寸分析

塑件与一般仪表盖零件的不同之处是尺寸相对较小，其最大直径为 90 mm，整体高度为 50 mm，壁厚均匀，为 4 mm。

3) 表面质量分析

塑件表面粗糙度要求不高，粗糙度 $R_a=0.8\ \mu m$。

4) 塑件的结构工艺性分析

塑件为电子仪表中使用的塑料仪表盖，是仪表中的配套零件，受力不大，强度要求不高。其形状结构相对简单，只在盖的顶部有 4 个小孔和 1 个中心孔，外形尺寸不大，且采用 ABS 热塑性塑料，可优先考虑采用注射成型。

3. 塑件基本参数的计算及注射机的选取

(1) 塑件体积和质量的计算

根据塑件的三维模型，利用三维软件直接可查询到塑件的体积：$V=68.387\ cm^3$。

初步估算浇注系统的体积：$V_j=5.85\ cm^3$。

塑件与浇注系统的总体积：$V_{总}=(68.387+5.85)\ cm^3=74.237\ cm^3$。

计算塑件的质量。查手册取塑料密度：$\rho=1.05\ g/cm^3$；塑件体积：$V=68.387\ cm^3$。

所以塑件的重量：$m=V\times\rho=68.387\times1.05\ g=71.81\ g$。

浇注系统的重量：$m_j=V_j\times\rho=5.85\times1.05\ g=6.14\ g$。

(2) 确定型腔数并初步选取注射机

若不是根据现有设备确定成型方案，则应先确定型腔数，再选取注射机。根据塑件的结构及尺寸精度要求，塑件可在注射模上采用一模一腔。

根据式(3-3)可得

$$V_{max}\geqslant\frac{nV+V_j}{k}=\frac{1\times68.387+5.85}{0.8}\ cm^3=92.796\ cm^3$$

查表得，XS-ZY-125 注射机最大注射量 $V_{max}=125\ cm^3$，选用 XS-ZY-125 型号注射机。

4. 确定注射模的结构

根据产品结构特点，塑件在模具中的布置方式有两种：一种是将塑件的回转轴线与模具中主流道衬套的轴线垂直；另一种是将此塑料制品的中心线与模具中主流道衬套的轴线平行。对于第二种布置方式，则要求模具侧向分模，而此小长杆为小型塑料件，通常采用 1 模多腔的结构，这里拟采用 1 模 1 件的结构，因此，采用侧向分模有些困难，注射机需要较大的锁模力，且成型的产品上飞边较薄，故采用第一种布置方案。此种布置方式对浇注系统，冷却系统和推出机构的设计都较第二种方式有利。模具型腔的结构采用动、定模对称的结构，易于加工制造。

确定模具总体结构形式，其内容包括：确定成型位置、选择分型面、确定浇注系统形式、确定推出方式、冷却和加热系统设计、排气系统设计、确定成型零部件及结构零部件的结构形式等。

(1) 确定成型位置

根据塑件的结构特点，采用了一模一腔，并将塑件的回转轴线与模具的主流道衬套的轴线布置在同一轴线上，型腔设置在定模部分的镶件中。

(2) 确定分型面

考虑塑件的外观质量，同时考虑塑件的结构，将分型面设在塑件的底部。

(3) 浇注系统设计

采用普通的浇注系统。因塑件具有 ϕ18 的中心孔，且为一模一腔，故浇口的类型可采用轮辐式浇口。

(4) 确定推出方式

结合塑件的结构特点，采用推杆推出的方式，由 4 根均布的推杆推出制品，由拉料杆推出浇注系统的凝料。

(5) 冷却和加热系统设计

为了使冷却效果好、缩短成型周期，在模具的定模型腔板和动模型腔板内开设了冷却水道，动模型腔板内横向阶梯穿过模板，使塑件各处的冷却均匀，模具的模温均匀。

ABS 塑料成型时需要模温为 50°～60 ℃，可不考虑模具的加热。

(6) 排气系统设计

利用分型面间隙以及推杆、拉料杆与孔的配合间隙排气。

(7) 确定成型零部件及结构零部件的结构形式

模具的成型零件主要由型芯和型腔构成，其中型腔是由镶件嵌入定模板中。模架按照国家标准 GB/T 12556—1990 选取，选用基本型中 A1 型标准模架。

5. 绘制注射模结构草图并校核注射机的有关工艺参数

根据上述零部件的设计，初步绘制出注射模完整的结构草图。对所选用的注射机的额定注射量、注射压力、锁模力、开模行程和推出装置及装模部分尺寸等有关参数进行校核，并最终确定注射模的结构及所选注射机。

(1) 注射量的校核

由前面计算得塑件重量为 71.81 g，浇注系统重量为 6.14 g，则每次注射需塑料量为(按一模一腔)：

$$1 \times 71.81\ \text{g} + 6.14\ \text{g} = 77.95\ \text{g}$$

按照式(3－4)校核，注射机的最大注射量：

$$(125 \times 0.8)\text{g} = 100\ \text{g} > 77.95\ \text{g}(\text{满足要求})$$

(2)注射压力与锁模力的校核

1) 注射压力的校核

经查表可知，ABS 塑料成型注射压力为 70～90 MPa，可取 80 MPa，而 XS－ZY－125 注射机的额定注射压力为 119 MPa(查表 3－5)，满足塑件成型的注射压力。

2) 锁模力的校核

锁模力可按(3－6)校核。

投影面积计算：

塑件投影面积　$A=3.14\times45^2\ \text{mm}^2=6\ 358.5\ \text{mm}^2$；

浇注系统投影面积　$A_1=254.34\ \text{mm}^2$；

涨开力：

$F_z=p(nA+A_1)=80\times0.8(1\times6\ 358.5+254.34)\ \text{kN}=42.32\ \text{kN}<F=900\ \text{kN}$（满足要求）

p 可取注射压力的 80%；F 为注射机额定锁模力，按表 3-5 得，XS-ZY-125 注射机额定锁模力为 900 kN。

(3) 模具厚度 H 的校核：

模具厚度 H 可按式(3-10)校核。

注射模的厚度 $H=235$ mm，查表 3-5 得 XS-ZY-125 注射机的最大模厚 $H_{max}=300$ mm，最小模厚 $H_{min}=200$ mm，所以

200 mm <235 mm <300 mm，满足 $H_{min}\leqslant H\leqslant H_{max}$ 的设计要求。

(4) 注射机开模行程的校核

注射机开模行程可按式(3-11)进行校核：

注射模的开模行程：$H_1+H_2+10=(50+94+10)\ \text{mm}=154\ \text{mm}$

查表 3-5 得，XS-ZY-125 注射机的最大开模行程 $S=300$ mm，所以

300 mm>154 mm（满足设计要求）

6. 模具设计的有关计算

(1) 成型零部件工作尺寸计算

这里仅以塑件的外径尺寸 $\phi80$ 为例，计算其成型零件型腔的径向尺寸。

由塑件图可知，外径尺寸 $\phi80$ 的公差 Δ 为 0.4 mm；查表可得塑件的收缩率为 0.3%～0.8%，取平均收缩率 $S_{cp}=0.55\%$；δ_z 取塑件公差 Δ 的 1/3；修正系数 x 取 0.5。按式(3-17)计算型腔径向尺寸如下：

$$(L_M)^{+\delta_z}_{0}=[(1+S_{cp})L_S-x\Delta]^{+\delta_z}_{0}=$$

$$[(1+0.55\%)\times80-0.5\times0.4]^{+\frac{1}{3}\times0.4}_{0}\ \text{mm}=80.24^{+0.13}_{0}\ \text{mm}$$

(2) 型腔壁厚的确定

型腔壁厚的计算可根据查表法查得。

7. 注射模总装图和零件图的绘制

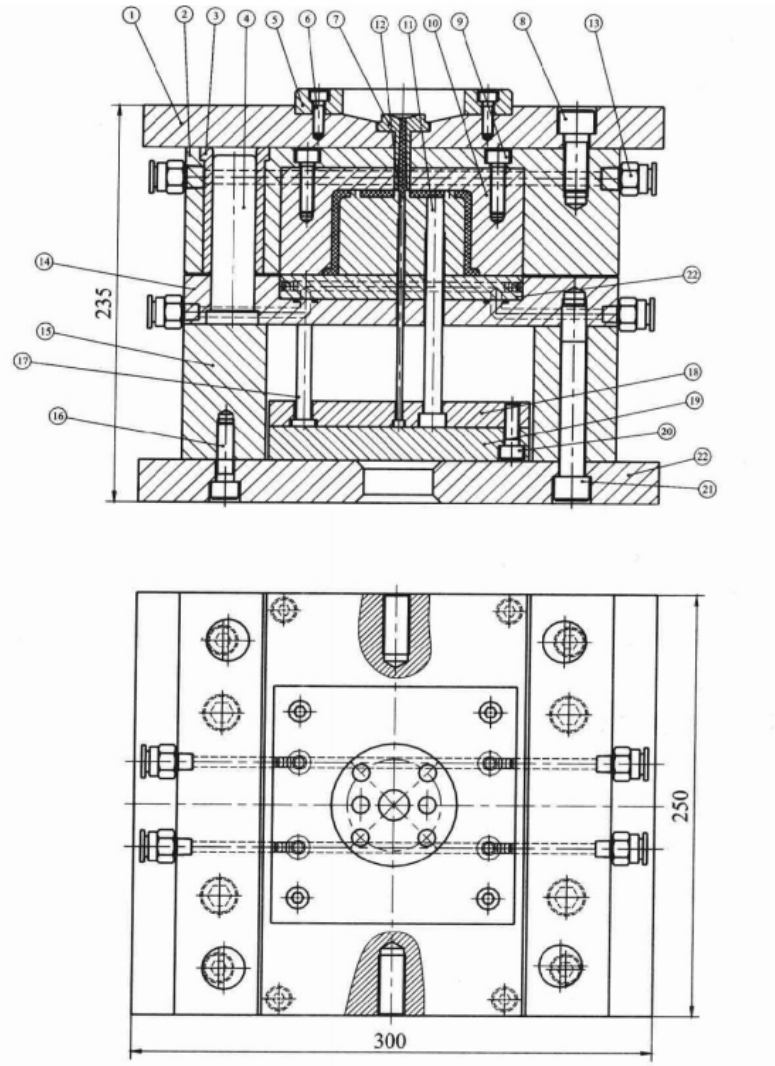
模具总装图的绘制必须符合国家机械制图标准，应清楚地表达模具总体结构、各零部件之间的装配关系，以及模具中塑件的形状、浇口位置等。本实例采用 1：1 比例绘制注射模总装图。在绘制俯视图时，将定模部分移走，只绘制动模部分。总装图上除标注必要的尺寸外，还需要填写技术要求、使用说明和编写明细表(这里省略)。注射模总装图如图 3-95 所示。

注射模的标准零件需给定型号和规格，直接外购；非标准零件均需要绘制零件图，零件图的绘制也应符合国家标准。

8. 图样的审核

总装图和零件图绘制之后需进行审核，在所有审核正确无误后，再将设计结果送达生产部门组织生产。

模具设计人员还应参加零件加工、组装、试模、投产的全过程。



1—定模座板；2—定模板；3—导套；4—导柱；5—定位圈；6，8，9，16，20，21—螺钉；7—主流道衬套；10—型腔镶件；11—推杆；12—拉料杆；13—冷却水接头；14—动模板；15—垫块；17—复位杆；18—推杆固定板；19—推板；22—动模座板；23—动模镶块；24—型芯

图 3-95　塑料仪表盖注射模总装图

3.4　压缩模设计

压缩成型模具简称压缩模、压模，又称压制模，是塑料压缩成型所采用的模具，主要用于热固性塑料的成型。其基本成型过程是将塑料粉料或粒料直接加在敞开的模具加料室内，再将模具闭合，通过加热、加压使塑料呈流动状态并充满型腔，然后由于化学或物理变化使塑料固化（或硬化）定型。

压缩成型的特点是塑料直接加入型腔内，压机压力通过凸模直接传递给塑料，模具是在塑料最终成型时才完成闭合。其优点是无需设置浇注系统，耗料少，使用的设备和模具都比较简单，适用于流动性差的塑料，宜成型大型塑件，塑料的收缩率小，变形小，各向异性比较均匀；其

缺点是生产周期长，效率低，不易压制形状复杂、壁厚相差较大、尺寸精度高且带有精细或易碎嵌件的塑件。

本节主要介绍热固性塑料压缩模的设计，压缩模的导向机构、侧向分型与抽芯机构、温度调节系统等组成部分的设计可参见注射模的设计，这里不再赘述。

3.4.1　压缩模的结构组成及分类

1. 压缩模的结构组成

压缩模的典型结构如图 3－96 所示。模具的上模和下模分别安装在压力机的上、下工作台上，上、下模通过导柱导套导向定位。上工作台下降，使上凸模 3 进入下模加料室 4 与装入的塑料接触并对其加热。当塑料成为熔融状态后，上工作台继续下降，熔料在受热受压的作用下充满型腔。塑件固化（或硬化）成型后，上工作台上升，模具分型，同时压机下面的辅助液压缸开始工作，脱模机构将塑件脱出。压缩模按各零部件的功能作用可分为以下几大部分。

（1）成型零件

成型零件是直接成型塑件的零件，加料时与加料室一同起装料的作用，模具闭合时形成所要求的型腔。图 3－96 中模具型腔由上凸模 3、凹模 4、型芯 8、下凸模 9 等构成。

（2）加料室

图 3－96 中凹模 4 的上半部，为凹模截面尺寸扩大的部分。由于塑料与塑件相比具有较大的比容，塑件成型前单靠型腔往往无法容纳全部原料，因此一般需要在型腔之上设有一段加料腔室。

（3）导向机构

导向机构的作用是保证上模和下模两大部分或模具内部其他零部件之间的准确对合。图 3－96中，由布置在模具上周边的 4 根导柱 6 和导套 10 组成导向机构，为保证推出机构上下运动平稳，该模具在下模座板 15 上设有 2 根推板导柱，在推板上还设有推板导套。

（4）侧向分型与抽芯机构

当压缩塑件带有侧孔或侧向凹凸时，模具必须设有各种侧向分型与抽芯机构，塑件方能脱出。图 3－96 中的塑件有一侧孔，在推出塑件前用手动丝杠（侧型芯 19）抽出侧型芯。

（5）脱模机构

压缩模中一般都需要设置脱模机构（推出机构），其作用是使塑件脱模。图 3－96 中的脱模机构由推板 16、推杆固定板 18、推杆 12 等零件组成。

（6）加热系统

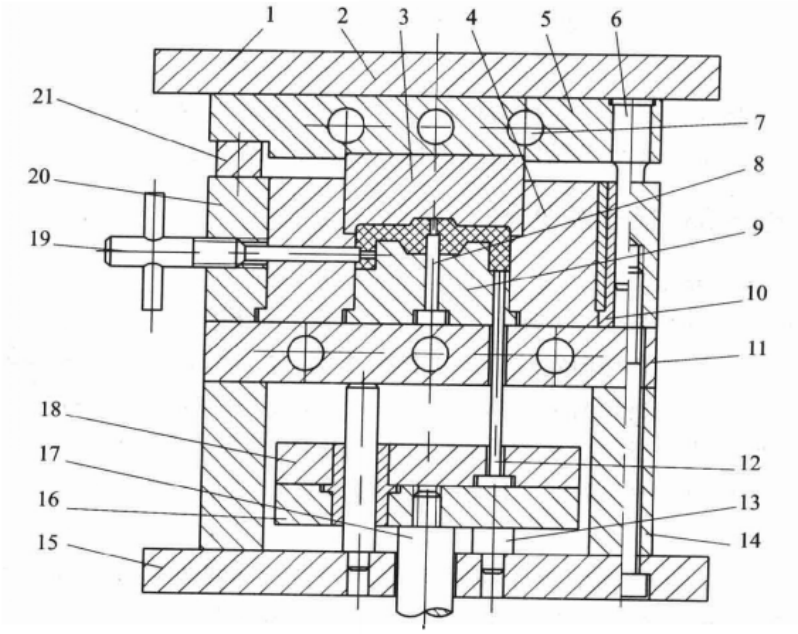
在压缩热固性塑件时，模具温度必须高于塑料的交联温度，因此模具必须加热。常见的加热方式是电加热。图 3－96 中加热板 5，11 中设计有加热孔 7，加热孔中插入加热元件（如电热棒）分别对上凸模、下凸模和凹模进行加热。

（7）支承零部件

压缩模中的各种固定板、支承板（加热板）以及上、下模座等均称为支承零部件，主要作用是固定和支承模具中各种零部件，并且将压力机的压力传递给成型零部件和成型物料。如图 3－96 中的上模座板 1、加热板 5 和 11、垫块 14、下模座板 15、型腔固定板 20、承压板 21 等。

2. 压缩模的分类

压缩模分类方法很多，可按模具在压力机上的固定方式分类，可按模具加料室的形式进行



1—上模座板；2—螺钉；3—上凸模；4—加料室(凹模)；5，11—加热板；6—导柱；7—加热孔；8—型芯；9—下凸模；10—导套；12—推杆；13—支承钉；14—垫块；15—下模座板；16—推板；17—连接杆；18—推杆固定板；19—侧型芯；20—型腔固定板；21—承压板

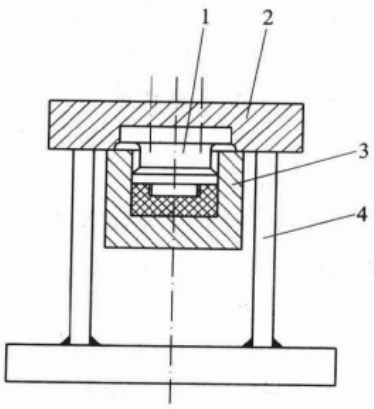
图 3-96　压缩模结构

分类，也可按型腔数目的多少分类。这里介绍两种常见的分类方法。

(1) 按模具在压机上的固定形式分类

1) 移动式压缩模

移动式压缩模如图 3-97 所示，模具不固定在压力机上。压缩成型前，打开模具把塑料加入型腔，然后将上下模合拢，送入压力机工作台上对塑料进行加热、加压固化成型。成型后将模具移出压力机，使用专门卸模工具开模脱出塑件。这种模具结构简单，制造周期短，但因加料、开模、取件等工序手工操作，劳动强度大、生产率低、易磨损，适用于压缩成型批量不大的中小型塑件以及形状复杂、嵌件较多、加料困难及带有螺纹的塑件。



1—凸模；2—凸模固定板；3—凹模；4—U 型支架

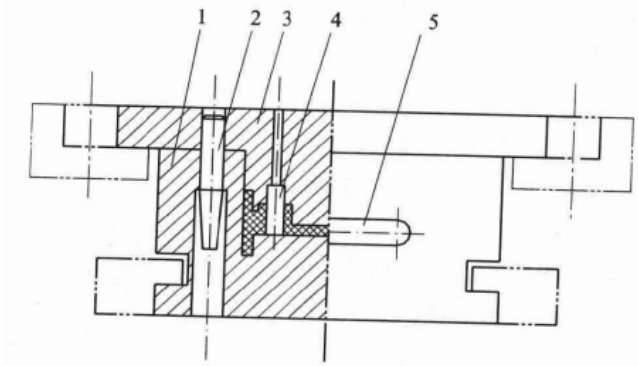
图 3-97　移动式压缩模

2) 半固定式压缩模

半固定式压缩模如图 3-98 所示，一般将上模固定在压机上，下模可沿导轨移动，移进时用定位块定位，合模时靠导向机构定位。在压力机外进行加料并在卸模架上脱出塑件。这种模具结构便于放嵌件和加料，且上模不移出机外，从而减轻了劳动强度，也可按需要采用下模固定的形式，工作时移出上模，用手工取件或卸模架取件。

3) 固定式压缩模

固定式压缩模如图 3-98 所示。上、下模分别固定在压机的上、下工作台上。开合模与塑



1—凹模(加料室);2—导柱;3—凸模(上模);4—型芯;5—手柄

图 3-98　半固定式压缩模

件脱出均在压力机上靠操作压力机完成,因此生产率较高、操作简单、劳动强度小、模具振动小、模具寿命长,但缺点是模具结构复杂、成本高,且安放嵌件不方便,适用于成型批量较大或形状较大的塑件。

(2) 根据模具加料室形式分类

1) 溢式压缩模

溢式压缩模如图 3-99 所示。这类压缩模没有加料室,型腔总高度 h 基本上就是塑件高度。由于凸模与凹模无配合部分,完全靠导柱定位,故塑件的径向尺寸精度不高。环形挤压面 B 的宽度较窄,可减小塑件的飞边。溢式压缩模结构简单,造价低廉,耐用,塑件易取出,对加料量的精度要求不高,加料量一般仅大于塑件重量的 5%左右,常用预压型坯进行压缩成型,它适用于精度不高且尺寸小的浅型腔塑件。

2) 不溢式压缩模

不溢式压缩模如图 3-100 所示。这种模具的加料室为型腔上部延续,其截面形状和尺寸与型腔完全相同,无挤压面。塑件径向壁厚尺寸精度较高。由于配合段单面间隙为 0.025～0.075 mm 左右,故压缩时仅有少量的塑料流出,使塑件在垂直方向上形成很薄的轴向飞边,去除比较容易。模具在闭合压缩时,压力几乎完全作用在塑件上,因此塑件密度高,强度高。

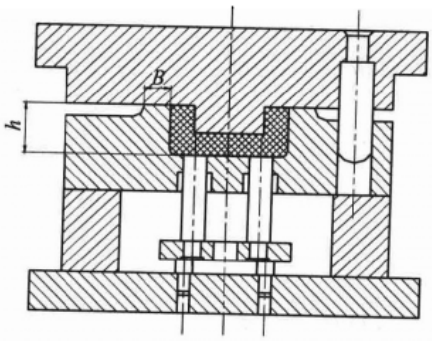


图 3-99　溢式压缩模

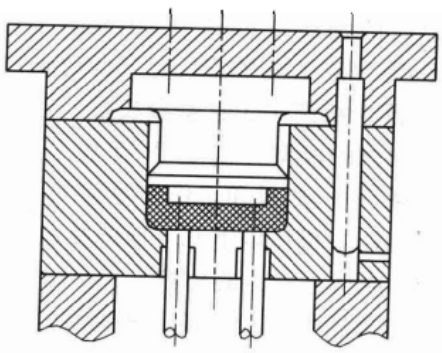


图 3-100　不溢式压缩模

不溢式压缩模适用于成型形状复杂、精度高、壁薄、流程长的深腔塑件,也可成型流动性差、比容大的塑件。但由于塑料溢出量极少,加料量多少直接影响着塑件的高度尺寸,要求加

料量必须准确；另外凸模与加料室内壁有摩擦，可能会划伤内壁；不溢式压缩模还需要设置推出装置，否则塑件很难取出。

3）半溢式压缩模

半溢式压缩模如图 3－101 所示。这种压缩模在型腔上设有加料室，其截面尺寸大于型腔截面尺寸，两者分界处有一环形挤压面，其宽度为 3～5 mm。凸模与加料室呈间隙配合，凸模下压时受到挤压面的限制，故易于保证塑件高度尺寸精度。凸模在四周开有溢流槽，过剩的塑料通过配合间隙或溢流槽排出。因此，此种压缩模操作方便，加料时加料量不必严格控制，只需简单地按体积计量即可。

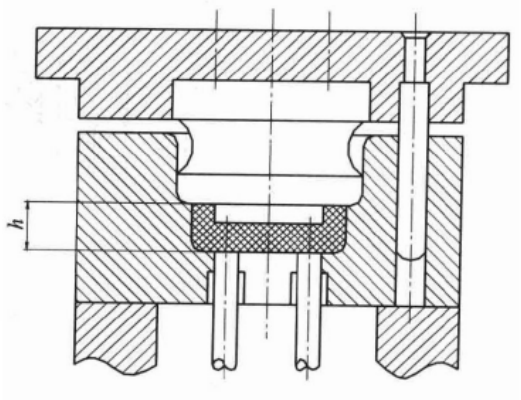


图 3－101　半溢式压缩模

半溢式压缩模兼有溢式和不溢式压缩模的优点，塑件径向壁厚尺寸和高度尺寸的精度均较好，密度较高，模具寿命较长，塑件脱模容易，塑件外表不会被加料室划伤，因此在生产中被广泛采用。半溢式压缩模适用于压缩流动性较好的塑料以及形状较复杂的塑件，由于有挤压边缘，不适用于压制以布片或长纤维作填料的塑件。

3.4.2　压缩模与压力机的关系

1. 国产压力机简介

压力机的种类较多，按传动方式分为机械式压力机和液压机，其中机械式压力机常见的形式有螺旋式压力机，双曲柄杠杆式等。由于机械式压力机的压力不准确，运动噪声大，容易磨损，特别是人力驱动的手板压力机，劳动强度很大，故机械式压力机工厂很少采用。液压式最为常用，其分类为：按机架结构分为框式结构和柱式结构；按施压方向分为上压式和下压式，压制大型层压板可采用下压式压力机，压制塑件一般采用上压式压力机；按工作流体种类可分为油驱动的油压机和油水乳液驱动的水压机。目前大量使用的是带有单独油泵的液压机，此种压力机的油压可以调节，其最高工作油压多采用 30 MPa，此外还有 16 MPa，32 MPa，50 MPa等。液压机多数具有半自动或全自动操作系统，对成型时间等可以进行自动控制。

2. 压力机有关工艺参数校核

压力机的成型总压力、开模力、脱模力、合模高度和开模行程等技术参数与压缩模设计有直接关系，同时压板和工作台等装配部分尺寸在设计模具时也必须考虑，所以在设计压缩模时应首先对压力机作以下几方面的校核。

（1）成型总压力的校核

成型总压力是指塑料压缩成型时所需的压力，它与塑料的几何形状、水平投影面积、成型工艺等因素有关，成型总压力必须满足下式：

$$F_m = nAp \leqslant KF_p \tag{3-32}$$

式中：F_m——成型塑件所需的总压力，N；

K——修正系数，按压机的新旧程度取 0.75～0.90；

F_p——压力机的额定压力，N。

n——型腔数目；

A——单个型腔在工作台上的水平投影面积，mm^2，对于溢式或不溢式模具水平投影面积等于塑件最大轮廓的水平投影面积；对于半溢式模具等于加料室的水平投影面积；

p——压缩塑件需要的单位成型压力，MPa。

当压机的大小确定后，也可以按下式确定多塑腔模具的塑腔数目：

$$n = KF_p/Ap \quad (\text{取整数}) \tag{3-33}$$

(2)开模力的校核

开模力的大小与成型压力成正比，可按下式计算：

$$F_k = kF_m \tag{3-34}$$

式中：F_k——开模力，N；

k——系数，配合长度不大时可取 0.1，配合长度较大时可取 0.15，塑件形状复杂且凸凹模配合较大时可取 0.2。

若要保证压缩模可靠开模，必须使开模力小于压力机液压缸的回程力。

(3) 脱模力的校核

压力机的顶出力是保证压缩推出机构脱出塑件的动力，压缩所需的脱模力可按下式计算：

$$F_t = A_c P_f \tag{3-35}$$

式中：F_t——塑件从模具中脱出所需要的力，N；

A_c——塑件侧面积之和，mm^2；

P_f——塑件与金属表面的单位摩擦力，塑件以木纤维和矿物质作填料取 0.49 MPa，塑料以玻璃纤维增强时取 1.47 MPa。

若要保证可靠脱模，则必须使压力机的顶出力大于脱模力。

(4) 合模高度与开模行程的校核

为了使模具正常工作，必须使模具的闭合高度和开模行程与压力机上下工作台之间的最大和最小开距以及压力机的工作行程相适应，即

$$h_{min} \leqslant h = h_1 + h_2 \tag{3-36}$$

式中：h_{min}——压力机上下模板之间的最小距离；

h——模具合模高度；

h_1——凹模的高度(见图 3-102)；

h_2——凸模台肩的高度(见图 3-102)。

如果 $h < h_{min}$，上下模不能闭合，模具无法工作，这时在模具与工作台之间必须加垫板，要求 h_{min} 小于 h 和垫板厚度之和。为保证锁紧模具，其尺寸一般应小于 10～15 mm。为保证顺利脱模，还要求

$$h_{max} \geqslant h + L = h_1 + h_2 + h_s + h_t + (10 \sim 30)\ \text{mm} \tag{3-37}$$

式中：L——模具最小开模距离；

h_s——塑件的高度，mm；

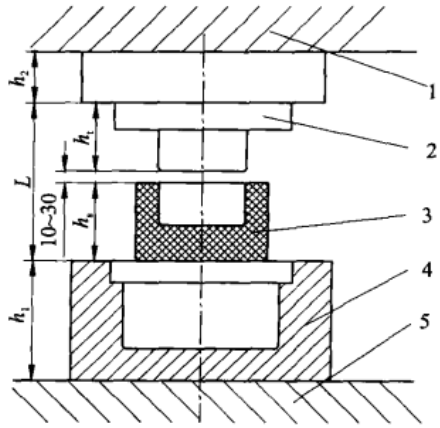
h_t——凸模高度，mm；

h_{max}——压力机上下模板之间的最大距离。

(5) 压力机顶出机构的校核

固定式压缩模一般均利用压力机工作台面下的顶出机构(机械式或液压式)驱动模具脱模机构进行工作,因此压力机的顶出机构与模具的脱模机构的尺寸要相适应,即模具所需的脱模行程必须小于压力机顶出机构的最大工作行程,模具需要的脱模行程 L_d 一般应保证塑件脱模时高出凹模型腔 10～15 mm,以便将塑件取出,即有

$$L_d = h_s + h_3 + (10 \sim 15)\ \text{mm} \leqslant L_p \tag{3-38}$$



1、5—上、下工作台;2—凸模;3—塑件;4—凹模

图 3-102 模具高度和开模行程

式中:L_d——压缩模需要的脱模行程,mm;

h_s——塑件的最大高度,mm;

h_3——加料室的高度,mm;

L_p——压力机推顶机构的最大工作行程,mm。

(6) 压力机工作台有关尺寸的校核

压缩模设计时应根据压力机工作台面规格和结构来确定模具的相应尺寸。模具的宽度尺寸应小于压力机立柱(四柱式压机)或框架(框架式压机)之间的净距离,使压缩模能顺利装在压力机的工作台上,模具的最大外形尺寸不应超过压力机工作台面尺寸,同时还要注意上下工作台面上的 T 形槽的位置。模具可以直接用螺钉分别固定在上下工作台上,但模具上的固定螺钉孔(或长槽,缺口)应与工作台的上下 T 形槽位置相符合,模具也可用螺钉和压板压紧固定,这时上下模底板设有宽度为 15～30 mm 的凸台阶。

3.4.3 压缩模成型零部件设计

在设计压缩模时,首先应确定加料室的总体结构,凹模和凸模之间的配合形式以及成型零部件的结构,然后再根据塑件尺寸确定型腔成型尺寸,根据塑件重量和塑料品种确定加料室尺寸。

1. 塑件在模具内加压方向的确定

加压方向是指凸模作用方向。加压方向对塑件的质量、模具结构和脱模的难易程度都有较大影响,因此在决定加压方向时应考虑下述因素。

(1) 便于加料

图 3-103 所示为同一塑件的两种加压方法。图 3-103(a)加料室直径小而深,不利于加料;图 3-103(b)加料室直径大而浅,便于加料。

(2) 有利于压力传递

在加压过程中,尽量缩短压力传递距离,以减少压力损失。圆筒形塑件一般情况下应顺着其轴向施压,如图 3-104(a)所示。但对于轴线长的杠类、管类等塑件,由于塑件过长,成型压力不易均匀地作用在全长范围内,若从上端加压,则塑件底部压力小,会使底部产生疏松或角落填充不足的现象;若采用上下凸模同时加压,则塑件中部会出现疏松现象,为此可将塑件横放,采用图 3-104(b)所示的横向加压形式,这种形式有利于压力传递,可克服上述缺陷,但在塑件外圆上将产生两条飞边而影响外观质量。

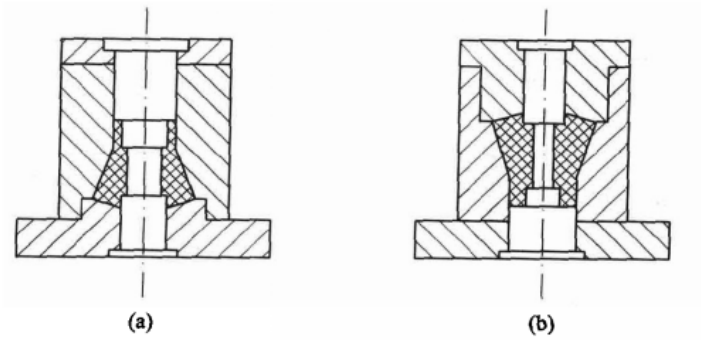


图 3－103　便于加料的加压方向

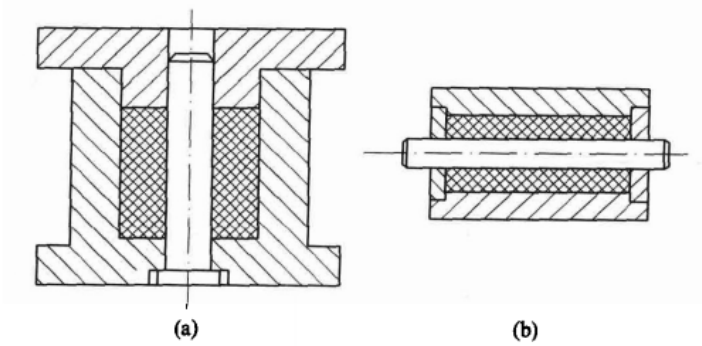


图 3－104　有利于压力传递的加压方向

(3) 便于安装和固定嵌件

当塑件上有嵌件时，应优先考虑将嵌件安装在下模。若将嵌件安装在上模，如图3－105(a)所示，既不方便又可能使嵌件不慎落下压坏模具；如图 3－105(b)所示，将嵌件改装在下模，不但操作方便，而且还可利用嵌件推出塑件而不留下推出痕迹。

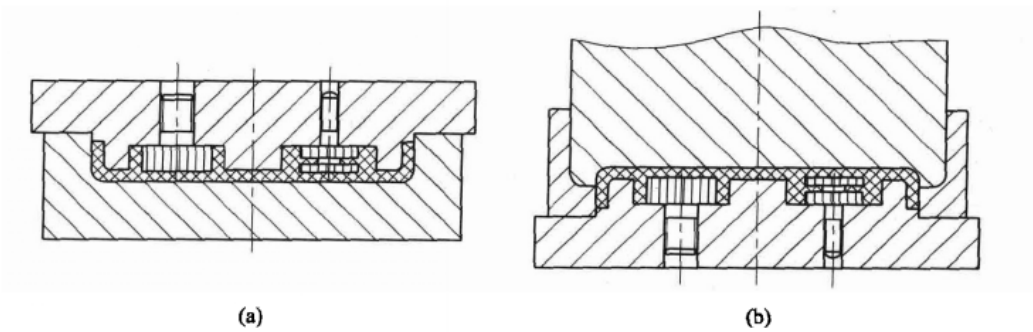


图 3－105　便于安放嵌件的加压方向

(4) 便于塑料流动

加压方向与塑料流动方向一致时，有利于塑料流动。如图 3－106(a)所示，型腔设在上模，凸模位于下模，加压时，塑料逆着加压方向流动，同时由于在分型面上需要切断产生的飞边，故需要增大压力；而图 3－106(b)中，型腔设在下模，凸模位于上模，加压方向与塑料流动方向一致，有利于塑料充满整个型腔。

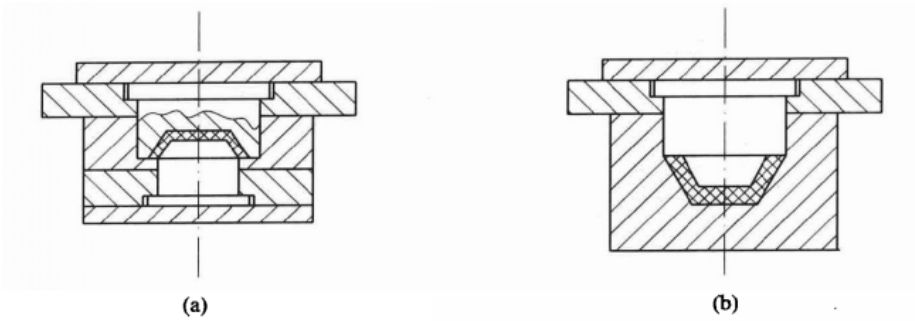


图 3-106　便于塑件流动的加压方向

(5) 保证凸模强度

对于从正反面都可以加压成型的塑件，选择加压方向时应使上凸模形状尽量简单，保证凸模强度。图 3-107(b)所示的结构比图 3-107(a)所示结构的凸模强度高。

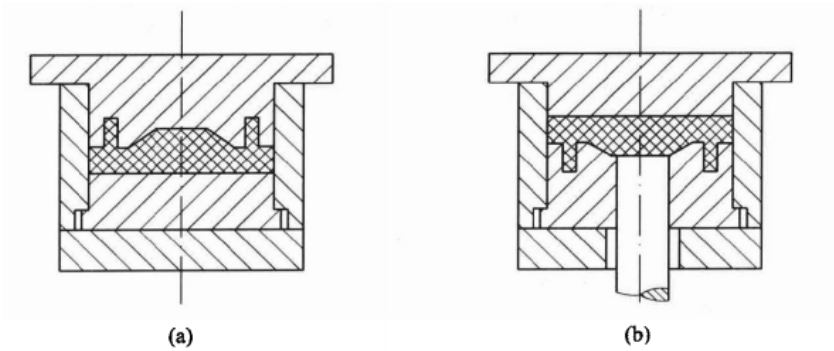


图 3-107　有利于凸模强度的加压方向

(6) 保证重要尺寸的精度

沿加压方向的塑件高度尺寸会因飞边厚度不同和加料量不同而变化(特别是不溢式压缩模)，故精度要求高的尺寸不宜设计在加压方向上。

(7) 便于抽拔长型芯

当利用开模力作侧向机动分型抽芯时，应注意将抽拔距较大的型芯与加压方向保持一致，而将抽拔距较小的型芯放在侧向作侧向分型抽芯。

2. 凸模与凹模的配合形式

(1) 凹、凸模各组成部分及其作用

以半溢式压缩模为例，凹模、凸模一般由引导环、配合环、挤压环、储料槽、排气溢料槽、承压面、加料室等部分组成，如图 3-108 所示。它们的作用及参数如下：

1) 引导环 L_1

引导环是引导凸模进入凹模的部分。除加料室极浅(高度小于 10 mm)的凹模外，一般在加料腔上部设有一段长为 L_1 的引导环。引导环都有一段 α 角的斜度，并设有圆角 R，以使凸模顺利进入凹模，减少凸、凹模之间的摩擦，避免在推出塑件时擦伤表面，增加模具使用寿命，减少开模阻力，并可以进行排气。移动式压缩模 α 取 $20'\sim1°30'$，固定式压缩模 α 取 $20'\sim1°$。有时上、下凸模为了加工方便，α 取 $4°\sim5°$。圆角 R 通常取 1～2 mm，引导环长度 L_1 取 5～

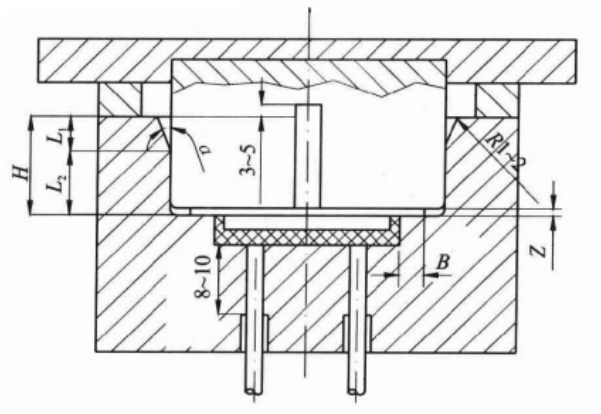


图 3-108　压缩模的凸凹模各组成部分

10 mm，当加料腔高度 $H \geqslant 30$ mm 时，L_1 取 10～20 mm。

2）配合环 L_2

配合环是凸模与凹模的配合部位，其作用是保证凸模与凹模定位准确，阻止溢料，通畅地排气。凸、凹模的配合间隙以不发生溢料和双方侧壁互不擦伤为原则。通常移动式模具，凸、凹模可采用 H8/f7 配合，形状复杂的可采用 H8/f8 配合，或取单边间隙 $t = 0.025 \sim 0.075$ mm。配合环长度 L_2 应根据凸、凹模的间隙而定，间隙小则长度取短些。一般移动式压缩模 L_2 取 4～6 mm；固定式模具，若加料腔高度 $H \geqslant 30$ mm 时，L_2 取 8～10 mm。

3）挤压环 B

挤压环的作用是限制凸模下行位置并保证最薄的水平飞边，挤压环主要用于半溢式和溢式压缩模。半溢式压缩模的挤压环的形式如图 3-109 所示，挤压环的宽度 B 值按塑件大小及模具用钢而定。一般中小型模具 B 取 2～4 mm，大型模具 B 取 3～5 mm。

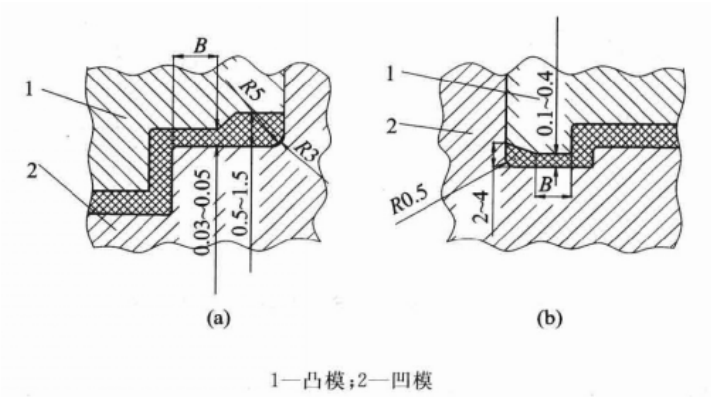
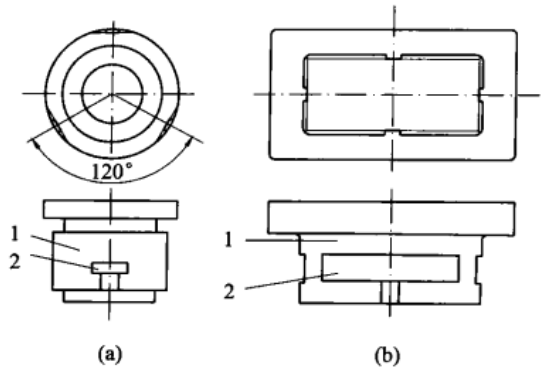


图 3-109　挤压环的形式

4）储料槽

储料槽的作用是储存排出的余料。Z 过大，易发生制品缺料或不致密，过小则影响塑件精度及飞边增厚。半溢式压缩模的储料槽形式如图 3-108 所示的小空间 Z，通常储料槽深度 Z 取 0.5～1.5 mm；不溢式压缩模的储料槽设计在凸模上，如图 3-110 所示。



1—凸模；2—储料槽

图 3－110　不溢式压缩模储料槽

5）排气溢料槽

压缩成型时为了减少飞边，保证塑件精度和质量，必须将产生的气体和余料排出，一般可通过在压制过程中进行卸压排气操作或利用凸、凹模配合间隙来排气，但压缩形状复杂塑件及流动性较差的纤维填料的塑料时，应设排气溢料槽，成型压力大的深型腔塑件也应开设排气溢料槽。图 3－111 所示为固定半溢式压缩模排气溢料槽的不同形式。排气溢料槽应开到凸模的上端，使合模后高出加料腔上平面，以便使余料排出模外。

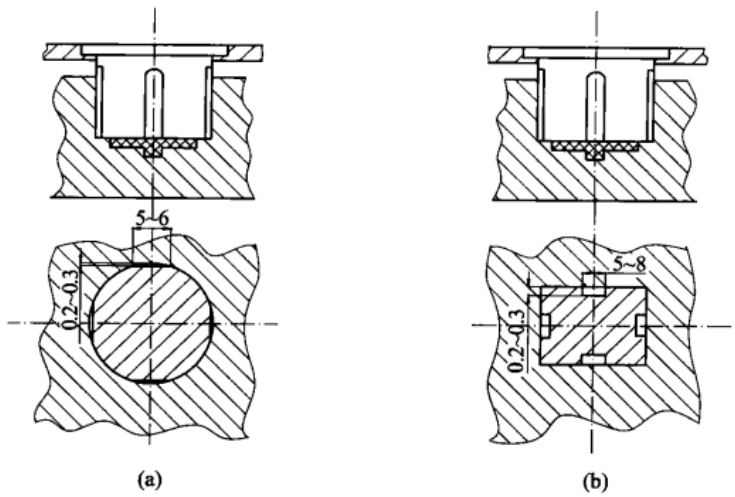
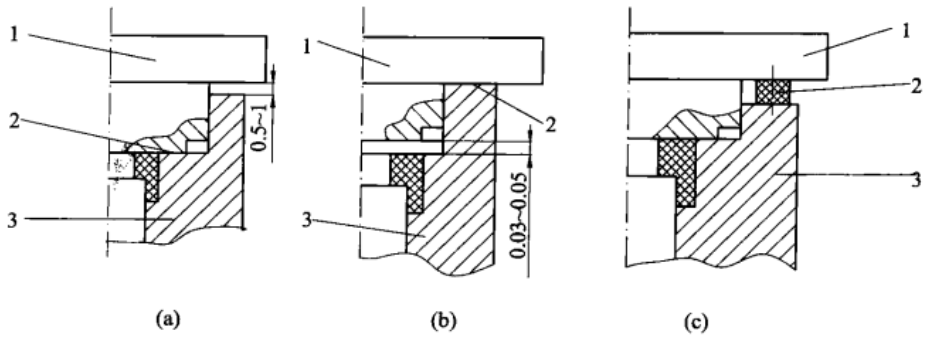


图 3－111　半溢式固定式压缩模的溢料槽

6）承压面

承压面的作用是减轻挤压环的载荷，延长模具的使用寿命。承压面的结构形式如图 3－112。图 3－112(a)是以挤压环为承压面，承压部位容易变形甚至压坏，但飞边较薄；图 3－112(b)表示凸模与凹模之间留有 0.03～0.05 mm 的间隙，以凸模固定板与凹模上端面作为支承面，可防止挤压环的变形损坏，延长模具使用寿命，但飞边较厚，主要用于移动式压缩模；图 3－112(c)是用承压块作挤压面，通过调节承压块的厚度来控制凸模进入凹模的深度或控制凸模与挤压边缘的间隙，减少飞边厚度，主要用于固定式压缩模。



1—凸模；2—承压面；3—凹模

图 3－112　压缩模承压面的结构形式

（2）凸、凹模配合的结构形式

压缩模凸模与凹模配合的结构形式及尺寸是压缩模设计的关键，其形式和尺寸依压缩模类型不同而不同。

1）溢式压缩模凸模与凹模的配合形式

图 3－113 所示为溢式压缩模的常用配合形式，没有加料室，更无引导环和配合环，凸模和凹模在分型面水平接触。为了减少溢料量，接触面要光滑平整，且接触面积不宜太大，以便将飞边减至最薄，一般将接触面设计成单边宽度为 3～5 mm 的环形面（溢料面），如图 3－113(a) 所示。为了提高承压面积，在环形面（挤压面）外开设溢料槽，槽以内为溢料面，溢料槽外为承压面，如图 3－113(b)所示。

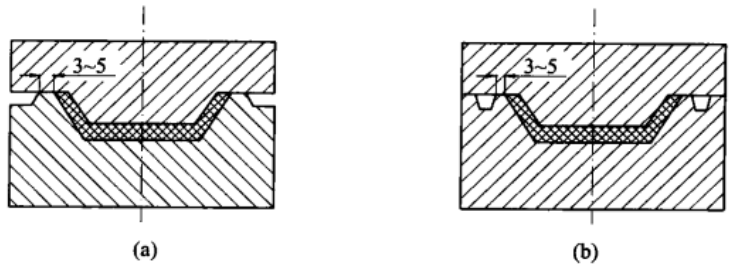
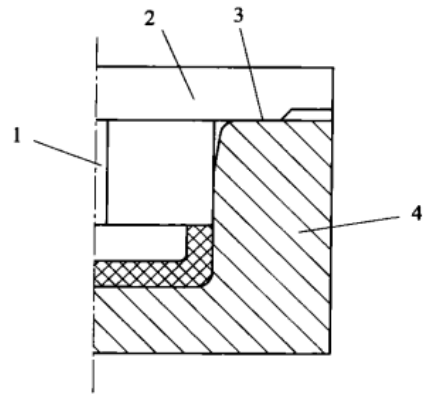


图 3－113　溢式压缩模的配合形式

2）不溢式压缩模凸模与凹模的配合形式

不溢式压缩模典型的配合形式如图 3－114 所示，其加料室的截面尺寸与型腔截面尺寸相同，没有挤压环。其配合间隙不宜过小，否则压制时型腔内气体无法通畅地排出，且凸、凹模极易擦伤、咬死；但配合间隙也不宜过大，否则溢料严重，飞边难以去除，配合环常用配合精度为 H8/f7 或单边 0.025～0.075 mm。

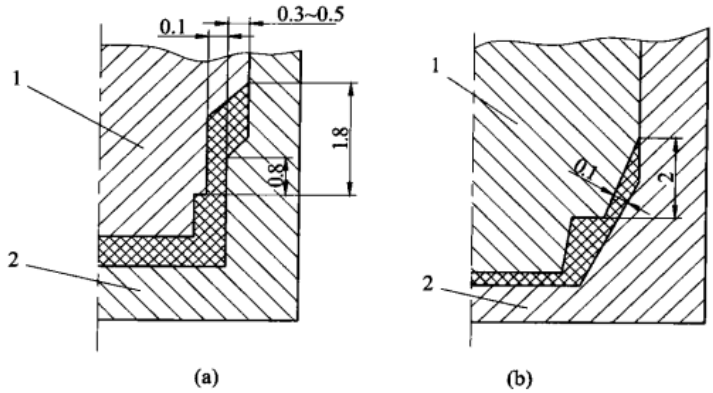
上述配合形式的最大缺点是凸模与加料室侧壁摩擦会使加料室逐渐损伤，造成塑件脱模困难，而且塑件外表面也很易擦伤。为克服这些缺点，可采用如图 3－115 所示的改进形式。图 3－115(a)是将凹模



1—排气溢料槽；2—凸模；3—承压面；4—凹模

图 3－114　不溢式压缩模的配合形式

型腔向上延长 0.8 mm 左右，每边向外扩大 0.3～0.5 mm 左右，减少塑料推出时的摩擦，同时凸模与凹模间形成空间，供排除余料用；图 3－115(b)用于带斜边的塑件，将型腔上端按塑件侧壁相同的斜度适当扩大，高度增加 2 mm 左右。



1—凸模；2—凹模

图 3－115　不溢式压缩模的改进形式

3）半溢式压缩模的配合形式

半溢料压缩模的配合形式如图 3－108 所示。这种形式的最大特点是具有水平挤压面，同时还具有不溢料式压缩模凸模与加料室之间的配合环和引导环。配合环的配合精度可取 H8/f7 或单边留 0.025～0.075 mm 间隙。

3. 加料室尺寸的计算

压缩模凹模的加料室是供装塑料原料用的。其容积要足够大，以防在压制时原料溢出模外。

（1）塑件所需原料体积计算

塑件所需原料体积计算公式如下：

$$V_{sl} = KV_s \tag{3-39}$$

式中：V_{sl}——塑件所需原材料的体积，mm^3；

K ——塑料的压缩比，见表 3－9；

V_s——塑件的体积，mm^3。

若已知塑件质量求塑件所需原料体积，则可用下式计算：

$$V_{sl} = mv = V_s\rho v \tag{3-40}$$

式中：m——塑件质量，g；

v ——塑料的比容，见表 3－9。

表 3－9　常见热固性塑料的比容、压缩比

塑料名称	比容 $v/cm^3 \cdot g^{-1}$	压缩比 K
酚醛塑料(粉状)	1.8～2.8	1.5～2.7
氨基塑料(粉状)	2.5～3.0	2.2～3.0
碎布塑料(片状)	3.0～6.0	5.0～10.0

(2) 加料室高度的计算

在进行加料室高度的计算之前，应确定加料室高度的起始点。一般情况，不溢式加料室高度以塑件的下底面开始计算，而半溢式压缩模的加料室高度以挤压边开始计算。

1) 图 3-116(a)所示的不溢料式压缩模，其加料室高度按下式计算：

$$H = \frac{V_{sl} + V_X}{A} + (5 \sim 10)\ \text{mm} \tag{3-41}$$

式中：V_{sl}——塑料原料的体积，mm^3；

V_X——下凸模凸出部分的体积，mm^3；

A——加料室的截面积，mm^2。

2) 图 3-116(b)所示的不溢料式压缩模，其加料室高度按下式计算：

$$H = \frac{V_{sl} - V_j}{A} + (5 \sim 10)\ \text{mm} \tag{3-42}$$

式中：V_j——加料室底部以下型腔的体积，mm^3。

3) 图 3-116(c)所示为不溢料式压缩模，可压制壁薄而高的塑件，由于型腔体积大，塑料原料体积较小，塑料装入后尚不能达到塑件高度，这时加料室高度只需在塑件高度基础上再增加 10～20 mm，即

$$H = h + (10 \sim 20)\ \text{mm} \tag{3-43}$$

式中：h——塑件的高度，mm。

4) 图 3-116(d)所示的半溢式压缩模，其加料室高度按下式计算：

$$H = \frac{V_{sl} - V_j + V_X}{A} + (5 \sim 10)\ \text{mm} \tag{3-44}$$

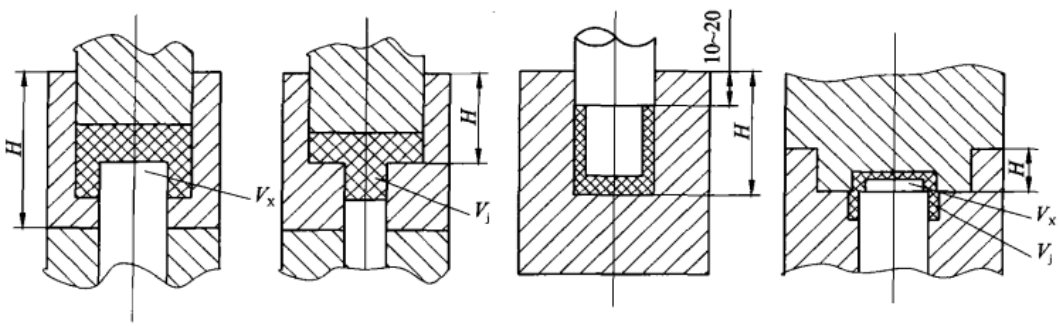


图 3-116　压缩模加料室的高度

3.4.4　压缩模脱模机构设计

1. 固定式压缩模的脱模机构

固定式压缩模的脱模机构按推出方式可分为推杆脱模机构、推管脱模机构、推件板脱模机构等，与注射模相似。

固定式压缩模脱模机构按动力来源可分为气动式、手动式、机动式 3 种。

气动式如图 3-117 所示，即利用压缩空气直接将塑件吹出模具。当采用溢式压缩模或少数半溢式压缩模时，如果塑件为薄壁壳形、对型腔的黏附力不大，则可采用气吹脱模。当薄壁

壳形塑件对凸模包紧力很小或凸模斜度较大时，开模后塑件会留在凹模中，这时将压缩空气吹入塑件与模壁之间因收缩而产生的间隙里，使塑件脱模，如图 3－117(a)所示。图 3－117(b)为一矩形塑件，其中心有一孔，成型后压缩空气吹破孔内的溢边，压缩空气便会钻入塑件与模壁之间，使塑件脱出。

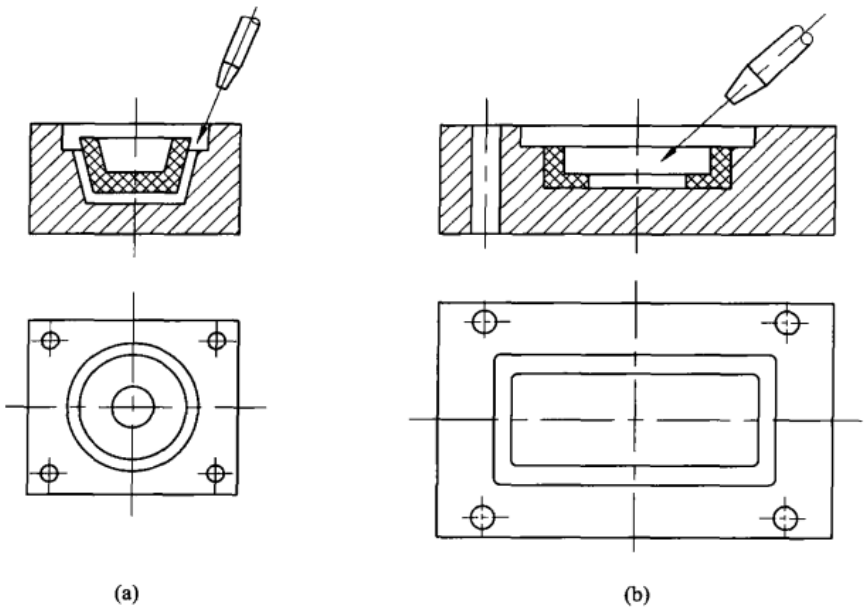
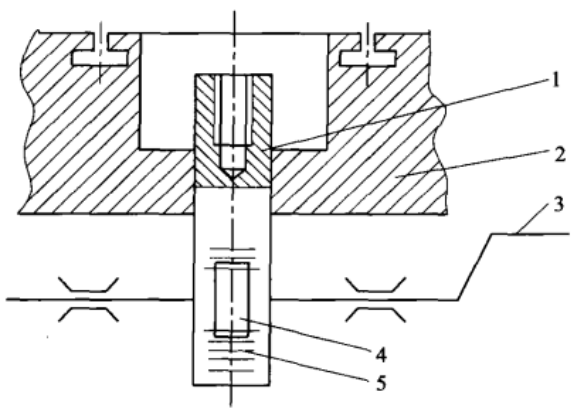


图 3－117　气吹脱模

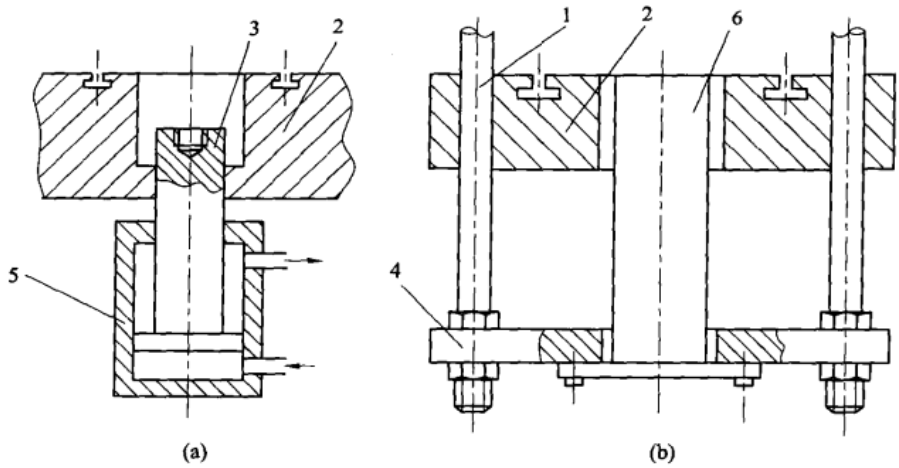
手动式可利用人工通过手柄，用齿轮齿条传动机构或卸模架等将塑件取出。图 3－118 所示即为手动式的形式，摇动压力机下方是带齿轮的手柄，齿轮带动齿条上升进行脱模。



1—推杆；2—压力机下工作台；3—手柄；4—齿轮；5—齿条

图 3－118　压力机中的手动推顶装置

机动式如图 3－119 所示。图 3－119(a)是利用压力机下工作台下方的顶出装置推出脱模；图 3－119(b)利用上横梁中的拉杆 1 随上横梁(上工作台)上升带动托板 4 向上移动而驱动推杆 6 推出脱模。



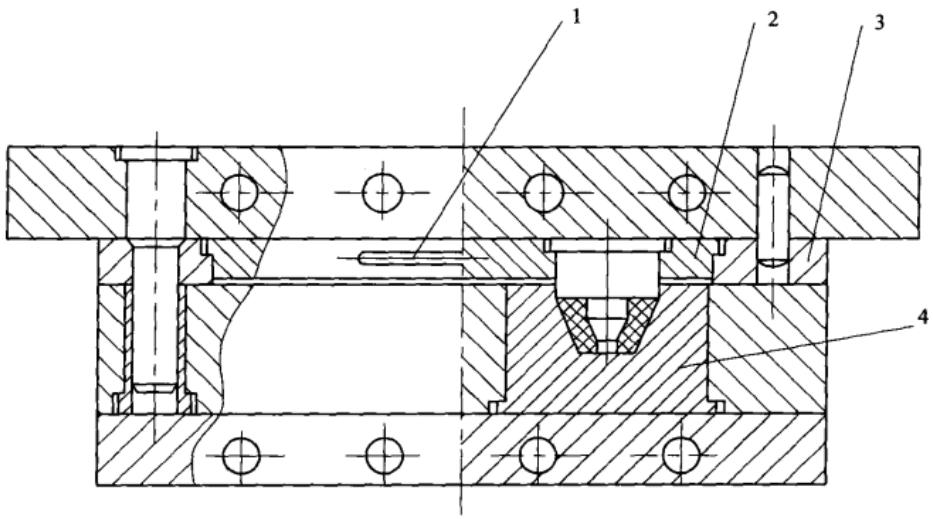
1—拉杆；2—压力机下工作台；3—活塞杆(顶杆)；4—托板；5—液压缸；6—推杆

图 3－119　压力机推顶装置

2. 半固定式压缩模的脱模机构

(1) 带活动上模的压缩模脱模机构

这类压缩模可将凸模或模板制成沿导滑槽抽出的形式，如图 3－120 所示，开模后塑件留在活动上模 2 上，用手柄 1 沿导滑板 3 把活动上模拉出模外取出塑件，然后再把活动上模送回模内。



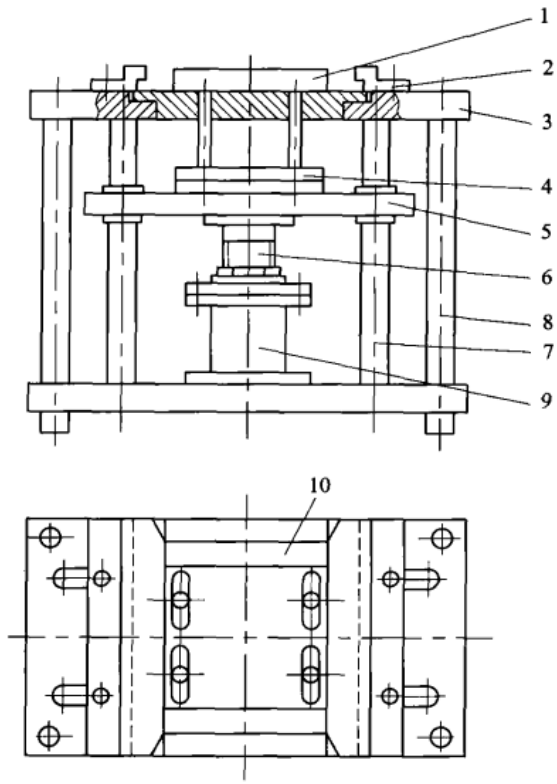
1—手柄；2—活动上模；3—导滑板；4—凹模

图 3－120　抽屉式压缩模

(2) 带活动下模的压缩模脱模机构

如图 3－121 所示为一典型的模外脱模机构。该脱模机构工作台 3 与压力机工作台等高，工作台支承在 4 根立柱 8 上。在工作台 3 上装有宽度可调节的导滑槽 2，以适应不同模具宽度。在脱模工作台中间装有推出板、推杆和推杆导向板，推杆与模具上的推出孔相对应，当更

换模具时则应调换这几个零件。工作台下方设有液压推出缸 9，在液压缸活塞杆上接有调节推出高度的丝杠 6，为了使脱模机构上下运动平稳而设有滑动板 5，该板上的导套在导柱 7 上滑动。为了将模具固定在正确的位置上，设有定位板 1 和可调节的定位螺钉。开模后将活动下模的凸肩滑入导滑槽 2 内，并推到与定位板相接触的位置。开动推出液压缸，推出塑件，待清理和安装嵌件后，将下模重新推入压力机的固定槽中进行压缩。当下模重量较大时，可以在工作台上沿模具拖动路径设滚柱或滚珠，使下模拖动轻便。



1—定位板；2—导滑槽；3—工作台；4—推出板；5—滑动板；
6—丝杆；7—导柱；8—立柱；9—液压缸；10—推杆导向板

图 3－121　模外液压推顶脱模机构

3. 移动式压缩模脱模机构

简单的移动式压缩模可以采用撞击的方法脱模，即在特定的支架上将模具顺序撞开，然后用手工或简易工具取出塑件。采用这种方法脱模，其模具结构简单，成本低，但劳动强度大，振动大，而且由于不断撞击，易使模具过早地变形磨损，因此这种脱模方式已逐渐被淘汰。

移动式压缩模普遍采用特殊的卸模架，利用压力机提供的压力卸模，虽然生产率低，但开模动作平稳，劳动强度低，可提高模具使用寿命。对开模力不太大的模具，可采用单向卸模架，一般是用下卸模架，如图 3－122 所示；对开模力大的模具，要采用上下卸模架，如图 3－123 所示。

卸模架脱模常见的两种结构形式：

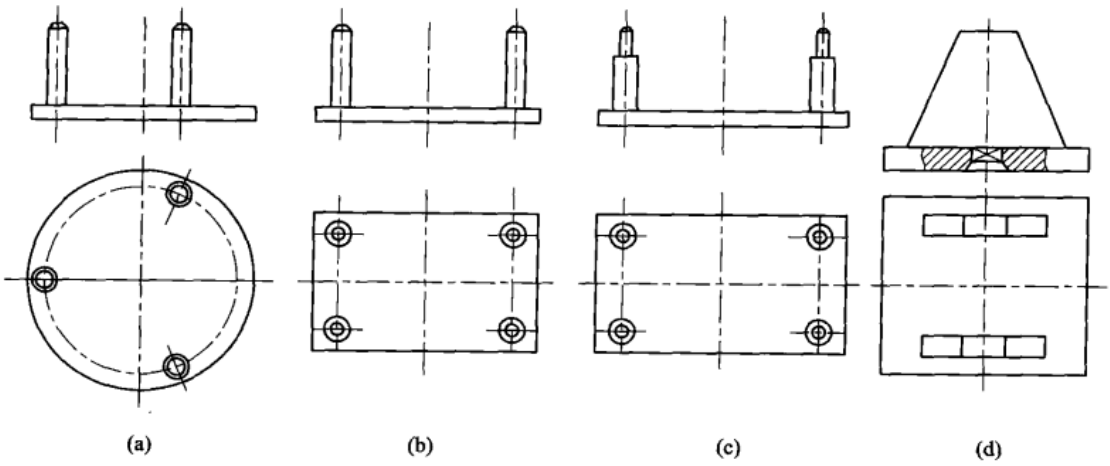


图 3－122　单向卸模架的形式

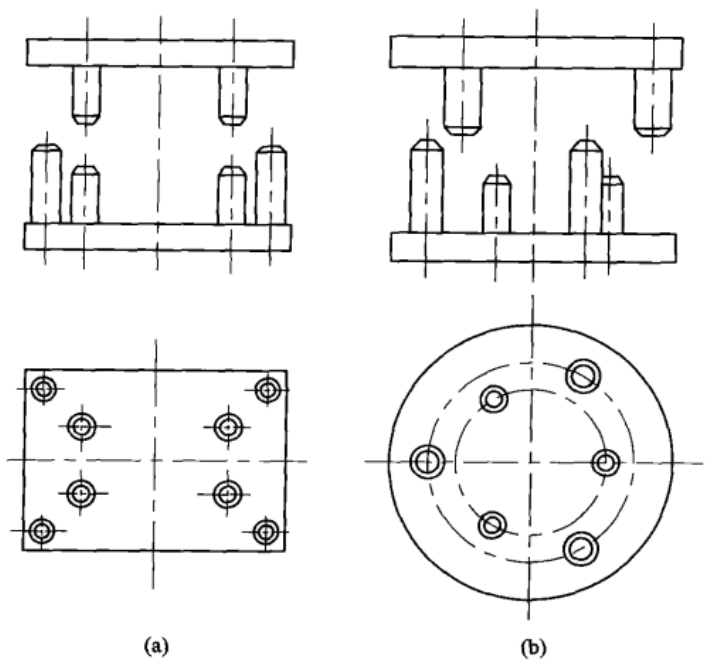


图 3－123　上下卸模架的形式

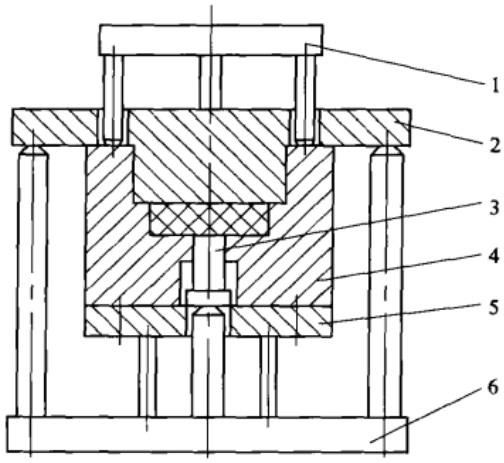
(1) 单分型面压缩模卸模架脱模

采用上下卸模架脱模时，其结构如图 3－124 所示。卸模时，先将上卸模架 1、下卸模架 6 的推杆插入模具相应的孔内。当压力机的活动横架即上工作台压到上卸模架时，压力机的压力通过上下卸模架传递给模具，使得凸模 2 和凹模 4 分开，同时，下卸模架推动推杆 3 推出塑件，最后由人工将塑件取出。

(2) 双分型面压缩模卸模架卸模

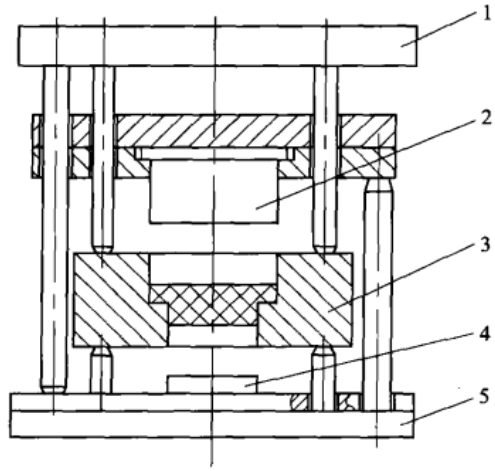
双分型面压缩模采用上下卸模架脱模时，其结构如图 3－125 所示。卸模时，同样先将上卸模架 1、下卸模架 5 的推杆插入模具相应的孔内。当压力机的活动横架压到上卸模架或下

卸模架时，上下卸模架上的长推杆使得上凸模 2、下凸模 4 和凹模 3 分开，凹模 3 留在上下卸模架的短推杆之间，最后在凹模中取出塑件。



1—上卸模架；2—凸模；3—推杆；4—凹模；5—下模座板；6—下卸模架

图 3－124　单分型面压缩模卸模架



1—上卸模架；2—上凸模；3—凹模；4—下凸模；5—下卸模架

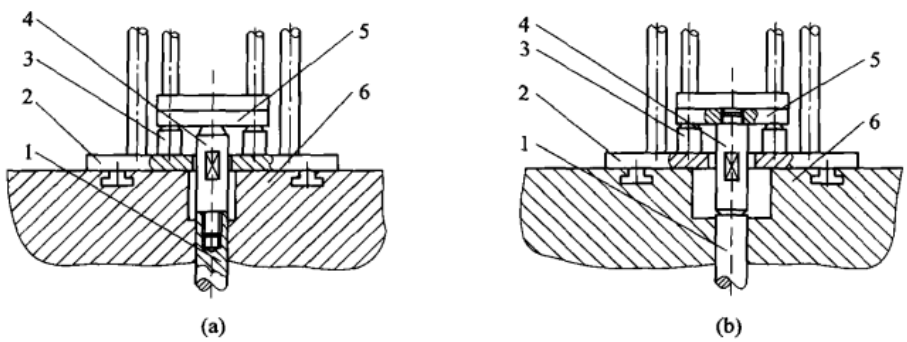
图 3－125　双分型面卸模架卸模

4. 压缩模脱模机构与压力机的连接方式

设计固定式压缩模的脱模机构时，必须了解压力机顶出系统与压缩模脱模机构的连接方式。多数压力机都带有顶出系统，也有的不带顶出系统，不带顶出系统的压力机适用于移动式压缩模。当压力机带有液压顶出系统时，液压缸的活塞即为压力机的顶杆，一般顶杆上升的极限位置是其端部与工作台表面相平齐的位置。压力机的顶杆与压缩模脱模机构的连接方式有两种。

（1）间接连接

即压力机的顶杆与压缩模的脱模机构不直接连接，如图 3－126 所示。如果压力机顶杆能伸出工作台面且伸出高度足够时，将模具装好后直接调节顶杆顶出距离，便可进行操作；当压力机顶杆端部上升的极限位置只能与工作台面平齐时，必须在顶杆端部旋入一适当长度的尾



1—压力机顶杆；2—下模座板；3—挡销；4—尾轴；5—推板；6—压力机下工作台

图 3－126　与尾轴间接连接的脱模机构

轴，尾轴的长度等于塑件推出高度加上压缩模座板厚度挡销厚度。尾轴的另一端与压缩模脱模机构无固定连接，如图 3－126(a)所示。尾轴也可以反过来利用螺纹与压缩模的推板相连，如图 3－126(b)所示。这两种形式都要设计复位杆等复位机构。

(2) 直接连接

即压力机的顶杆与压缩模的脱模机构直接连接。如图 3－127 所示，压力机的顶出机构与压缩模脱模机构通过尾轴固定连接在一起。这种方式在压力机下降过程中能带动脱模机构复位，不需再设复位机构。

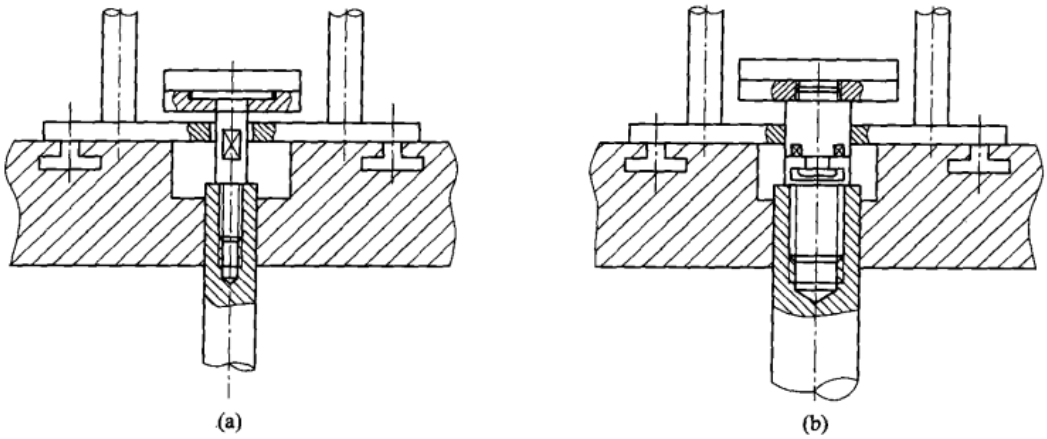


图 3－127　与尾轴直接连接的脱模机构

3.4.5　压缩模设计实例

1. 设计任务书

设计如图 3－128 所示的压环的压缩模。制品材料为 UF，小批量生产，端面要求平整光洁，表面粗糙度 R_a 为 1.6 μm。

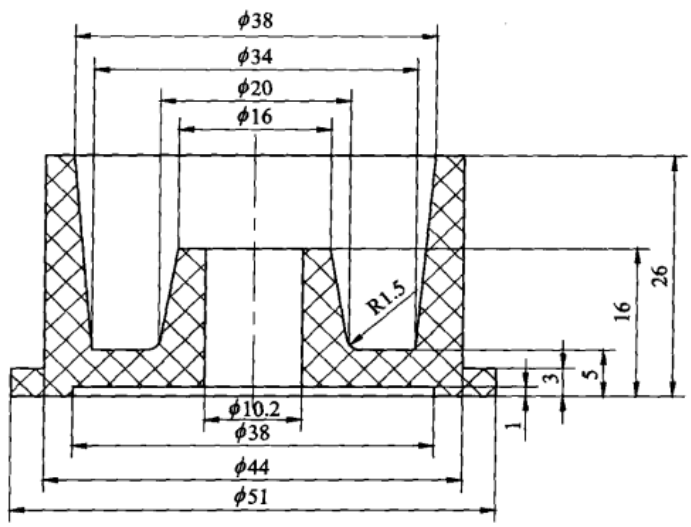


图 3－128　压环塑件图

2. 收集、分析原始资料

(1) 收集原始资料

UF 性能及成型参数见表 3－10。

表 3－10　UF 塑料性能及成型参数表

密度/(g/cm³)	1.47～1.52	比容/(cm³/g)	2.0～3.0
收缩率/(%)	0.6～1.4	压缩比	2.0～3.0
热变形温度/℃	126～140	吸水性/(mg·cm⁻³)	0.50
		拉西格流动性/mm	140～200
线膨胀系数/(10^{-5}×℃⁻¹)	2.2～3.6	保持时间/(min·mm⁻¹)	1.0
		模具温度/℃	130～190
		成型压力/MPa	80～120

液压机参数见表 3－11。

表 3－11　Y32－50　液压机参数表

公称压力/kN	500	顶出杆最大行程(手动)/mm	150
回程压力/kN	105	工作台最大开距/mm	600
工作液最大压力/MPa	20	工作台最小开距/mm	200
顶出杆最大顶出力/kN	7.5	滑块最大行程/mm	400
顶出杆最大回程力/kN	3.75		

(2) 对塑件进行分析

1) 塑件的原材料分析

塑料制件采用热固性塑料——UF(脲—甲醛)压塑粉。其价格便宜，着色性好，塑料制品外观好；有优良的电绝缘性和耐电弧性，表面硬度高，耐油、耐磨、耐弱碱和有机溶剂，吸水性较大。

2) 塑件的工艺分析

该塑件外形结构相对较为简单，整体为圆形结构，最大直径为 51 mm，总高度为 26 mm，大部分壁厚为 3 mm 左右；所有尺寸均为无公差要求的自由尺寸；塑件表面粗糙度要求不高；材料为 UF(脲—甲醛)压塑粉；生产批量小。综合上述因素，优先考虑采用压缩成型。

3. 确定模具的结构方案

结合对塑件的结构及工艺性分析，可采用手动移动式压缩模。塑件在模具中的布置方式是将塑件料多的部分放在上侧，采用上压式液压机，要求模具中的凸模安装在上模，加料室要布置在下模。根据塑件的结构，选择把主型芯安置在下模中。

根据塑件的结构特点及要求，采用了单型腔半溢式结构，并将塑件的回转轴线与模具的轴线布置在同一轴线上，结构简单，有利于压力的传递，并使之均匀。加压方向采用上压式。

考虑塑件的外观质量，同时考虑塑件的结构，选择了两个水平分型面，如图 3－129 所示的Ⅰ—Ⅰ，Ⅱ—Ⅱ两个分型面。

加料室采用了单型腔的加料室，以型腔的延伸部分及扩大部分作为加料室。

脱模取件的方式是成型后移出模具，用卸模架分型后从凹模中取出制品。

模具由装在机床上下工作台上的加热板来加热；配合热固性塑料成型时的排气需要，在凹模上表面开设了 4 个排气槽。

模具的成型零件主要由凸模、型芯和凹模构成，其中型腔是由凹模和嵌入下模固定板的镶件构成，型芯采用镶拼组合式。模架选用移动式通用模架。

4. 压机的选取

(1) 成型压力

查表选取 $p=25$ MPa；模具为单型腔，$n=1$；压力系数取 $K=1.2$。按照式(3-32)可得，成型总压力：

$$F_m = KnAp = \frac{1}{4}\pi d^2 npK = \left(\frac{1}{4}\times 3.14\times 51^2\times 1\times 25\times 1.2\right)\text{ kN} = 61.254\text{ kN}$$

(2) 开模力

系数取 $k=0.15$，则由式(3-34)可得，开模力：

$$F_k = kF_m = 0.15\times 61.254\text{ kN} = 9.188\text{ kN}$$

(3) 脱模力

塑件侧面积之和近似为

$$A_c = \pi d_1 h_1 + \pi d_2 h_2 + \pi d_3 h_3 + \pi d_4 h_4 + \pi d_5 h_5 =$$
$$3.14\times(51\times 3+44\times 23+38\times 21+20\times 11+10.2\times 16)\text{ mm}^2 =$$
$$7\,367\text{ mm}^2$$

塑件与金属表面的单位摩擦力取 $P_f=0.49$ N/mm^2，由式(3-35)可得，开模力：

$$F_t = A_c P_f = (7\,367\times 0.49)\text{ N} = 3\,610\text{ N} = 3.61\text{ kN}$$

根据成型压力、开模力和脱模力的大小，查表可以选择型号为 Y32-50 的液压机，为上压式、下顶出、框架结构，公称压力为 500 kN，回程压力为 105 kN，最大顶出力为 7.5 kN，工作台最大开距为 600 mm，各项参数均满足压缩模的需要。

5. 模具设计的有关计算

(1) 加料室尺寸的计算

1) 塑件所需原料体积计算

加料室结构采用单型腔半溢式结构，挤压边宽度取 5 mm，则加料室直径为

$$d = (51+2\times 5)\text{ mm} = 61\text{ mm}$$

根据塑件尺寸，近似算得塑件的体积 $V_s = 78.371\text{ cm}^3$。

由塑件体积求出塑件所需原料体积，查表取压缩比 $K=2.5$，按照式(3-39)可得塑件所需原料体积为

$$V_{sl} = KV_s = 2.5\times 78.351\text{ cm}^3 = 195.93\text{ cm}^3$$

2) 加料室高度的计算

按照式(3-44)计算加料室的高度：

$$H = \frac{V_{sl} - V_s - \pi r^2 h\times 10^{-3}}{\frac{1}{4}\pi d^2} + (0.5\sim 1.0)\text{ cm} =$$

$$\frac{195.93 - 78.371 - 3.14\times 19^2\times 1\times 10^{-3}}{0.25\times 3.14\times 6.1^2}\text{ cm} + (0.5\sim 1.0)\text{ cm} =$$

4.486 ～ 4.986 cm

加料室高度可取为 $H=46$ mm。

(2) 成型零件工作尺寸的计算

本实例仅以塑件的外径尺寸 $\phi44$ 为例，计算其成型零件型腔的径向尺寸。

计算时可参照注射模成型零件工作尺寸计算公式。查表知塑件的收缩率为 0.6%～1.4%，取平均收缩率 $S_{cp}=1.0\%$；UF 塑料精度按一般精度选取，$\Delta=0.28$，即有塑件的外径尺寸为 $\phi44_{-0.28}^{\ 0}$；模具制造公差 δ 取塑件公差 Δ 的 1/4；修正系数 x 取 0.5。按下式计算型腔径向尺寸如下：

$$D_{0}^{+\delta}=[(1+S_{cp})d'_{最大}-x\Delta]_{0}^{+\delta}=[(1+0.01)\times44-0.5\times0.28]_{0}^{+0.25\times0.28}\ \text{mm}=44.30_{0}^{+0.07}\ \text{mm}$$

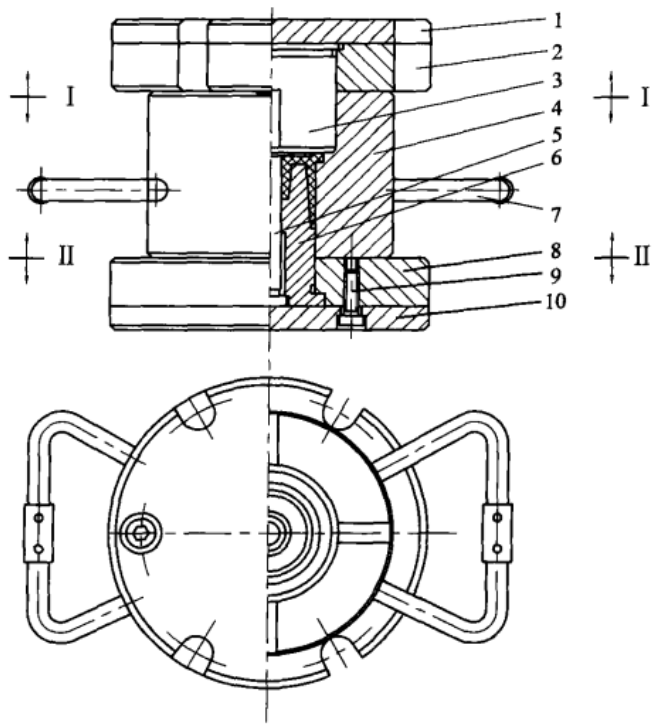
6. 压缩模总装图和零件图的绘制

在模具的总体结构及相应的零部件结构形式确定后，便可以绘制模具的总装图和零件图。总装图应清楚地表达模具总体结构、各零部件之间的装配关系，以及模具中塑件的大致形状、加料室的位置等。在绘制过程中采用了半剖的方法。总装图上除标注必要的尺寸外，还需要填写技术要求、使用说明和编写明细表(这里省略)。压缩模总装图如图 3-129 所示。

压缩模的非标准零件均需要绘制零件图，零件图的绘制也应符合国家标准。

7. 图样的审核

总装图和零件图绘制完毕后，必须进行审核。在所有审核正确无误后，再将设计结果送达生产部门组织生产。



1—上模板；2—上模固定板；3—凸模；4—凹模；5—型芯镶件；6—主型芯；7—手柄；8—下模固定板；9—螺钉；10—下模板；

图 3-129　压环压缩模总装图

3.5　塑料模具设计程序

由于塑件的结构复杂程度、尺寸大小、精度高低、生产批量、技术要求以及成型方式等各不相同，因此，在实际生产中模具设计是不可能一成不变的，应根据具体情况，结合实际生产条件，综合运用模具设计的基本原理和方法，设计出结构合理、制造方便、经久耐用、价格经济的成型模具。

这里以注射模、压缩模和压注模为例，介绍塑料模具的一般设计程序。

3.5.1　接受设计任务

成型塑件的任务书通常由塑件设计者提出，任务书的主要内容包括：

① 经过审签的正规塑件图，并注明所用塑料的牌号、颜色、透明度等。

② 塑件的技术要求。

③ 塑件的产量。

如果设计任务提供的是塑件样品，则需要先测绘塑件，绘制塑件图，并注明相关的技术要求。

通常模具设计任务书是由塑件成型工艺人员根据塑件的成型任务书提出，模具设计者以塑件成型任务书和模具设计任务书为依据来设计模具。

3.5.2　搜集、分析和消化原始资料

搜集整理有关塑件设计、成型工艺、成型设备、机械加工及特殊加工等的技术资料，为设计模具做好准备。

① 分析塑件。了解塑件的用途、使用情况及工作要求等；分析塑件所用塑料的工艺性能（如收缩性、流动性、吸湿性等）及使用性能（如力学强度、透明性等）；对塑件结构形状、尺寸精度、表面粗糙度、嵌件形式、模具结构及加工工艺等方面进行工艺性分析，对其不够合理的部分可提出改进意见，并与产品设计者或使用单位商榷修改。

② 分析工艺。消化工艺资料，分析工艺任务书所提出的成型方法、成型设备、材料型号、模具类型等要求是否合理，能否落实。

③ 熟悉《塑料材料手册》、《塑料模具设计手册》、《成型设备说明书》等有关设计资料，熟悉《机械制图标准》等常用的有关技术标准。

3.5.3　塑件基本参数的计算及成型设备的选择

根据塑件形状结构、尺寸精度、产量等要求，确定模具的型腔数目及模具加料室尺寸；计算塑件的体积和重量；计算塑件、浇注系统在分型面上的投影面积；计算必要的锁模力或模压所需的成型压力。由上述参数初步选取成型设备。

3.5.4　确定模具结构

模具的结构应满足塑件的工艺技术要求和生产经济要求。工艺技术要求是要保证塑件的形状、尺寸精度和表面粗糙度。生产经济要求是要使塑件的成本低，生产效率高，模具使用寿

命长，操作安全方便。在模具结构设计时主要完成以下工作：

① 塑件成型位置及分型面的选择。

② 型腔数目最终确定及型腔的排列。

③ 浇注系统的设计（主流道、分流道、浇口及冷料井的形式、位置、尺寸）和排气系统的设计（排气的方式、排气槽位置、尺寸）。

④ 模具成型零件的结构设计。

⑤ 模具结构零件设计（标准模架的选取、导向机构的设计等）。

⑥ 脱模机构的设计。

⑦ 若有侧向分型与抽芯，则需进行侧向分型与抽芯机构的设计。

⑧ 加热与冷却方式、加热与冷却沟槽的形状及位置、加热元件的安装部位的确定。

3.5.5 绘制模具结构草图并校核模具与成型设备的有关参数

在上述模具零部件设计的基础上，初步绘制出模具完整的结构草图。模具总体结构及有关尺寸确定后，对所选用的成型设备进行有关参数的校核，以最后调整与确定模具结构与参数、确定成型设备。

3.5.6 模具设计的有关计算

① 成型零件的工作尺寸计算、加料室的尺寸计算。

② 型腔壁厚、底板厚度的确定。

③ 有关机构的设计计算。

④ 模具加热与冷却系统的计算。

3.5.7 绘制模具总装图和零件图

1. 模具总装图的绘制

① 尽可能按 1∶1 比例绘制，并应符合机械制图国家标准。

② 选择足够的视图，以表达模具总体结构、各零部件之间的装配关系及紧固、定位方法。

③ 应标注出必要的尺寸，如轮廓尺寸、配合尺寸、定位圈尺寸、模具功能尺寸等。

④ 正确拟定模具的技术要求和使用说明，如模具装配工艺要求、使用及装拆方法、试模及检验要求等。

⑤ 按顺序编写全部零件的序号，并填写零件明细表。

⑥ 通常将塑件零件图绘制在模具总装图的右上方，并注明名称、材料、收缩率、制图比例等。复杂的塑件则将塑件零件图单独绘制在另一图样上。

2. 模具零件图的绘制

① 一般先绘制成型零件，再绘制结构零件。

② 图形应按适当比例绘制，视图选择与表达应合理、正确、布置得当，图形清晰。

③ 标注尺寸要统一、集中、有序、完整。

④ 正确拟定必要的技术要求及其他说明。

3.5.8 图样的审核

总装图和零件图绘制之后需进行审核，尤其是要审验成型零件的工作尺寸、装配尺寸、安

装尺寸等，审核模具工作过程各零部件动作正常性与稳定性。在所有审核正确无误后，再将设计结果送达生产部门组织生产。

习　题

第 3.1 节习题

1. 塑料一般由哪些组分组成？各自起什么作用？
2. 塑料是如何分类的？热塑性塑料与热固性塑料有什么区别？
3. 热塑性塑料与热固性塑料各有哪些工艺性能？
4. 常用塑料都有哪些性能特点？

第 3.2 节习题

1. 塑件设计需要考虑的主要因素有哪些？
2. 塑件设计的主要内容包括哪些？
3. 塑料螺纹设计要注意哪几个问题？
4. 何谓嵌件？金属嵌件设计时有何要求？

第 3.3 节习题

1. 简述注射成型的工艺过程。
2. 注射成型的工艺条件有哪些？
3. 注射模按各个零部件所起的作用，主要由哪几部分结构组成？
4. 注射模设计时，应对注射机哪些技术参数进行校核？
5. 分型面的类型及表示方法如何？分型面的设计原则有哪些？
6. 浇注系统一般由哪几部分组成？各起什么作用？
7. 常见浇口的形式有哪些？其特点如何？
8. 常用小型芯的固定方法有哪几种形式？分别使用在什么场合？
9. 已知图 3－130 所示的塑件，计算塑件注射模的成型零件工作尺寸（塑料的收缩率取 0.5%，成型零件的制造公差 δ_z 取塑件公差 Δ 的 1/3）。
10. 指出支承零部件的组成和作用。
11. 分别说明导柱、导套的类型，以及固定部分和导向部分的配合精度，并分别说明材料选用和热处理的要求。
12. 典型的推出机构由哪几部分组成？各起什么作用？
13. 在推杆、推件板、推管推出机构中，推杆、推件板、推管分别与相关零件的组合尺寸和配合精度如何要求？
14. 说明斜导柱侧向分型与抽芯机构的组成及工作原理。
15. 斜导柱设计中涉及哪些技术问题？
16. 冷却水道设计有哪些原则要求？
17. 常用的加热方式有哪些？

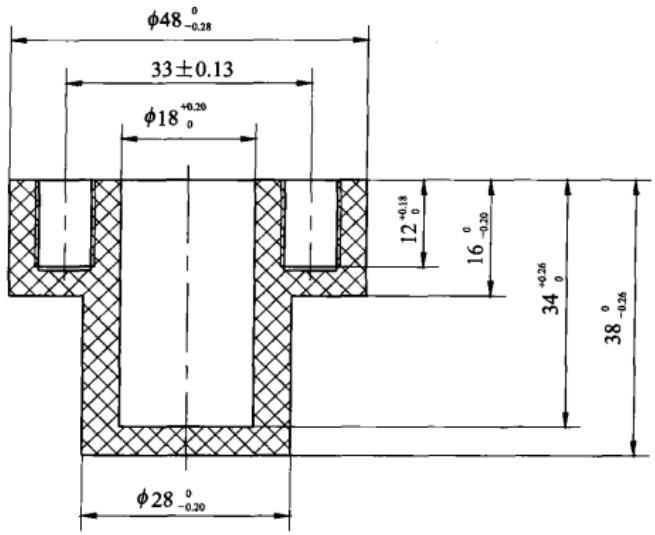


图 3-130　塑件图

第 3.4 节习题

1. 压缩模按各零部件的功能作用，可分为哪几个组成部分？
2. 溢式、半溢式、不溢式压缩模凸、凹模配合结构的设计有哪些要求？绘出简图予以说明。
3. 确定压缩模的加压方向主要考虑哪些因素？
4. 固定式压缩模的脱模机构与压力机顶杆的连接方式有哪几种？设计时应注意什么问题？

第4章　模具制造

模具是现代化工业生产中的重要装备，在国民经济中的各个工业生产部门都越来越多地依靠模具来进行生产加工。由于模具是一种生产效率很高的工艺装备，其种类很多（按其用途分为冷冲模、塑料模、陶瓷模、压铸模、锻模、粉末冶金模、橡胶模和玻璃模等），组成各种不同用途模具的零件更是多种多样，模具设计要求千变万化，设备、操作水平和加工习惯差异甚多，因而模具制造工艺是灵活多变的。

我国的模具制造在较长的时间里用的是传统的加工方法，近年来，随着快速成形技术，模具CAD/CAM等技术的应用发展，新工艺新技术开始在模具制造技术中得到应用和推广，模具加工技术向高速加工发展，成形表面的加工和光整加工都向精密、自动化发展。

近年来，是模具制造技术发展最快的时期，为了减少模具设计和制造的工作量，模具零件的标准化工作极为重要。标准化的模具零件和组件可以批量生产，并向市场提供。模具的商品化程度也提高了30%左右，一些先进的、精密和高自动化的模具加工设备，如数控铣床、加工中心、精密坐标磨床、连续轨迹数控坐标磨床、高精度测量仪、数控电火花成型加工机床、慢走丝精密电火花线切割机床、精密电解加工机床、三坐标测量仪和挤压研磨机等加工和检测用的精密高效设备都大量应用于模具加工制造，并且向模具自动加工系统方向发展。

同时，模具成形表面的特种加工工艺的研究和发展，使模具加工的精度和表面粗糙度都有很大的发展；热处理技术和表面处理技术的开发和应用，使模具寿命大幅度提高，快速成形技术作为一种全新的制造工艺，综合了机械工程、CAD、数控技术、激光技术和材料科学技术。

4.1　模具制造的基本要求、特点及工艺过程

4.1.1　模具制造的基本要求

模具制造应根据模具结构、模具材料、尺寸精度、形位精度、工作特性和使用寿命等项要求，综合考虑各方面的特点，并充分发挥现有设备的一切特长，选取最佳加工方案。由于模具设计要求千变万化，设备、操作水平和加工习惯差异甚多，因而模具制造工艺是灵活多变的。

在实际生产过程中要根据产品零件的结构和客观要求综合平衡，在各个生产环节中要对模具的精度和刚度、生产周期、生产成本和寿命等4项技术经济指标进行综合考虑，选取最佳加工方案，有效地制造出高质量的模具。

1. 模具的精度和刚度

（1）模具精度

机械产品的精度包括：尺寸精度、形状精度、位置精度和表面粗糙度。机械产品在工作状态和非工作状态的精度不同，又分为：动态精度和静态精度。

模具的精度主要体现在模具工作零件的精度和相关部位的配合精度。模具工作部位的精度高于产品制件的精度。例如冲裁模刃口尺寸的精度要高于产品制件的精度，冲裁凸模和凹模间冲裁间隙的数值大小和均匀一致性也是主要精度参数之一。平时测量出的精度都是在非

工作的状态下进行的，即静态精度。而在工作状态与受到工作条件的影响下，其静态数值都发生了变化，这时称为动态精度，这种动态间隙才是真正有实际意义的。一般模具的精度也应与产品制件的精度相协调，同时也受模具加工技术手段的制约。

影响模具精度的因素有：

① 产品制件精度。

② 模具加工技术手段的水平。

③ 模具装配钳工的技术水平。

④ 模具制造的生产方式和管理水平。

(2) 模具刚度

对于高速冲压模、大型冲压件成型模、精密塑料模和大型塑料模，不仅要求具有精度高，还应有良好的刚度。这类模具工作负荷大，当出现较大的弹性变形时，不仅要影响模具动态精度，而且关系到模具能否继续正常工作。

2. 模具的生产周期

模具的生产周期是从模具订货任务开始到模具试鉴定后交付合格模具所用的时间。当前，模具使用单位要求模具的生产周期越来越短，以满足市场竞争和更新换代的需要。因此，模具生产周期长短是衡量一个模具企业生产能力和技术水平的综合标志之一，也关系到一个模具企业在激烈的市场竞争中有无立足之地。同时模具的生产周期长短也是衡量一个国家模具技术管理水平高低的标志。

影响模具生产周期的主要因素有：

① 模具技术和生产的标准化程度。

② 模具企业的专门化程度。

③ 模具生产技术手段的现代化，模具设计、生产、检测手段的现代化。

④ 模具生产的经营和管理水平面。

3. 模具生产成本

模具生产成本指企业为了生产和销售模具支付费用的总和。模具成本包括：原材料费、外购件费、外协件费、设备折旧费和经营开支等。从性质上分为生产成本、非生产成本和生产外成本。

影响模具生产成本的主要因素：

① 模具结构的复杂程度和模具功能的高低。

② 模具精度的高低。

③ 模具材料的选择。

④ 模具加工设备。

⑤ 模具的标准化程度和本企业的标准化程度。

4. 模具寿命

模具寿命指模具在保证产品零件质量的前提下，所能加工的制件的总数量，包括工作面的多次修磨和易损件更换后的寿命。

模具寿命＝工作面的一次寿命×修磨次数×易损件的更换次数

一般在模具设计阶段就应明确该模具所适用的生产批量类型或者模具生产制件的总次数，即模具的设计寿命。不同类型的模具正常损坏的形式也不同，但总的来说工作表面损坏的

形式有：摩擦损坏、塑性变形、开裂、疲劳损坏和啃伤等。

影响模具寿命的主要因素有：

(1) 模具结构

合理的模具结构有助于提高模具的承载能力，减轻模具承受的热—机械负载水平。例如：模具可靠的导向机构，对于避免凸模和凹模的互相啃伤是有帮助的。又如：承受高级负荷的冷镦和冷挤压模具，对应力集中十分敏感，当承力截面尺寸变化时，最容易由于应力集中而开裂。因此，对截面尺寸变化处理是否合理，对模具寿命影响较大。

(2) 模具材料

应根据产品零件的生产批量的大小，选择模具材料。生产的批量越大，对模具的寿命要求也越高，应选择承载能力强、服役寿命长的高性能模具材料。另外，应注意模具材料的冶金质量可能造成的工艺缺陷及工作时的承载能力的影响，采取必要的措施来弥补冶金质量的不足，以提高模具的寿命。

(3) 模具加工质量

模具零件在机械加工、电火花加工以及锻造、预处理、淬火硬化等加工中，在表面处理时的缺陷都会对模具的耐磨性、抗断裂能力产生显著的影响。例如模具表面粗糙度、残存的刀痕、电火花加工的显微裂纹及热处理时的表层增碳和脱碳等缺陷都对模具的承载能力和寿命带来影响。

(4) 模具工作状态

模具工作时，使用设备的精度与刚度，润滑条件，被加工材料的预处理状态，模具的预热和冷却条件等都对模具产生影响。例如薄料的精密冲裁对压力机的精度和刚度特别敏感，必须选择高精度、高刚度的压力机。

(5) 产品零件状况

被加工零件材料的表面质量状态、材料硬度和伸长率等力学性能，以及被加工零件的尺寸精度都对模具寿命有直接的关系。如镍的质量分数为 80%的特殊合金成形时极易与模具工作表面发生强烈的咬合现象，使工作表面咬合拉毛，直接影响模具的正常工作。

4.1.2　模具制造的特点

1. 模具制造的生产特点

模具是专用的工艺装备，专用模具制造属于生产。尽管采取了一些措施，如模架标准化、毛坯专用化、零件商品化等，适当集中模具制造中的部分内容，使其带有批量生产的特点，但对整个模具制造过程，尤其对工作零件的制造过程仍属于单件生产。

模具制造的生产特点：单件、多品种生产；生产周期短；生产成套性；有试模和试修周期；模具加工向机械化、精密化和自动化发展。

2. 模具制造的工艺特点

设计和制造上采用较多的是实配法和同镗法，使得零件的互换性降低，但保证了加工精度，减小了加工难度。

在制造工序安排上，工序要相对集中，从而可以减少工序间周转，简化管理，便于将同一工种的任务相对固定地分配给一人完成，有利于加快制造进度和提高模具质量。

4.1.3 模具制造的工艺过程

1. 模具生产过程

生产过程就是指将原材料转变为产品的全过程。对模具制造行业而言，生产过程包括下列过程：

① 生产技术准备过程。产品投产前的生产技术准备工作包括市场需求情况的预测，产品的试验研究和设计、工艺设计和专用工艺装备的设计及制造、各种生产资料和生产组织、生产计划的编制等。

② 毛坯制造过程。如毛坯的锻造、铸造和冲压等。

③ 模具零件的加工。如机械加工、特种加工、热处理、焊接和其他表面处理等。

④ 模具的装配、试模过程。如部件装配、总装、检验、调试等。

⑤ 各种生产服务过程。包括原材料、半成品、工具、协作件和配套件的订购、供应、运输、保管、试用，以及产品的包装、销售、发运和售后服务等。

2. 模具制造工艺过程

在生产过程中，改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性质等，使之成为成品或半成品的过程称为工艺过程。如毛坯制造、机械加工、热处理和装配等过程，均为工艺过程。工艺过程是生产过程的重要组成部分。模具制造工艺过程主要包括：

毛坯制造工艺 { 铸造工艺
锻造工艺 ——→ 改变形状为主；
焊接工艺

热处理工艺——→改变性质；

模具零件机械加工工艺——→改变尺寸；

模具装配工艺——→改变位置、改变外观；

试模——→上述工艺过程的综合检验及模具设计合理性的评定。

规定模具制造工艺过程和操作方法的工艺文件称为模具制造工艺规程。它是在具体的生产条件下，把较为合理的工艺过程和操作方法，按规定的形式书写成工艺文件，经审批后用来指导生产的。

(1) 模具制造工艺规程的编制工作内容

① 编制工艺文件。主要包括模具零件的加工工艺规程、模具装配工艺要点或工艺规程、原材料清单、外购件清单、外协件清单等。

② 二类工具的设计和工艺编制。二类工具(二级工具)指加工模具和装配中所用的各种专用工具。这些专用工具，一般都是由模具工艺技术人员负责设计和工艺编制，它的质量和效率对模具质量和生产进度起着重要的作用，注意应该将二类工具的数量和成本降低到客观允许的最小限度。编制的内容主要有非标准的铰刀和铣刀，各型面检验样板，非标准量规，仿形加工靠模，电火花成型加工电极、形面检验放大图。

③ 处理加工现场技术问题。如：解释工艺文件和进行技术指导，调整加工方案和方法，办理尺寸超差和代料。

④ 参加试模和鉴定工作。

(2) 模具制造工艺规程的要求

模具制造工艺规程一般应规定零件加工的工艺路线、工序的加工内容、检验方法、切削用量、时间定额以及所采用的设备和工艺装备等。具体有以下几方面的基本要求：

① 质量的可靠性　工艺规程要充分考虑和采取一切确保产品质量的必要措施，以期能全面、可靠和稳定地达到设计图样上所要求的精度、表面质量和其他的技术要求。

② 工艺技术的先进性　工艺规程的先进性指的是在工厂现有条件下，除了采用本厂成熟的工艺方法外，尽可能地吸收适合工厂情况的国内外同行的先进工艺技术和工艺装备，以提高工艺技术水平。

③ 经济性　在一定的生产条件下，要采用劳动量、物资和能源消耗最少的工艺方案，从而使生产成本最低，使企业获得良好的经济效益。

④ 有良好的劳动条件　制订的工艺规程必须保证工人具有良好而安全的劳动条件。

⑤ 制定工艺规程时应具有相关的原始资料　主要有模具的装配图和各组成部分的零件图；模具的生产纲领；有关手册、图册、标准、类似产品的工艺资料和生产经验；工厂的生产条件(机床设备、工艺设备、工人技术水平等)以及国内外有关工艺技术的发展情况等。

(3) 编制模具制造工艺规程的步骤

① 研究模具产品的装配图和零件图进行工艺分析。

② 确定生产类型。

③ 确定毛坯。在确定毛坯时，要熟悉本厂毛坯车间的技术水平和生产能力，各种钢材、型材的品种规格。应根据产品零件图和加工的工艺要求(如定位、夹紧、加工余量和结构工艺性)，确定毛坯的种类、技术要求及制造方法。必要时，应和毛坯车间技术人员一起共同确定毛坯图。

④ 拟定工艺路线。工艺路线是指产品或零部件在生产过程中，由毛坯准备到成品包装入库，经过企业各有关部门或工序的先后顺序。

⑤ 确定各工序的加工余量，计算工序尺寸及其公差。

⑥ 选择各工序的使用的机床设备及刀具、夹具、量具和辅助工具。

⑦ 确定切削用量及时间定额。

⑧ 填写工艺文件。生产中常见的工艺文件的格式有：加工工艺过程卡片、加工工艺卡片和加工工序卡片，它们分别适合于在不同生产的情况采用。

4.2　模具零件的加工

4.2.1　模具零件的加工分析

1. 模具表面分类

从模具制造工艺的角度看，根据每个零件及表面在模具中作用和制造阶段的不同，可以分为外形表面、成形表面和结构表面。

(1) 外形表面

外形表面指构成模具零件基本外形特征的表面。

一般外形表面是模具零件的外沿表面，这些外沿表面多为同平面组成的矩形体或由圆柱面、圆锥面组成的旋转体。有时也包含二维面和三维曲面。这些外形表面又是加工其他表面的划线面；或是其他表面加工找正、装配的基准面；也可能又是模具的成形表面、塑料模的分型面。

(2) 成形表面

成形表面是模具中直接决定产品零件形状、尺寸、精度的表面及与这些表面协调的相关表面。例如：冲裁模中的凹模、凸模工作表面及与工作表面协调相关的卸料板、固定板等各型孔表面。

一般成形表面的形状比较复杂、尺寸精度较高和表面粗糙度数值较小，而多有热处理要求，各相关零件的成形表面的一致性和协调性都有比较严格的要求。成形表面的加工是工艺工作的重点和难点。

(3) 结构表面

结构表面是模具中起定位、导向、定距、限位、联接和驱动等作用的表面。结构表面对于保证各个零件间的相关尺寸和位置精度，对于联接和相互运动的可靠性起着十分重要的作用。结构表面的形状是各种各样的，而且不同零件的材料及热处理要求也不相同。在工艺安排中，要根据各个零件结构表面的作用及与其他相关零件的关系区别对待。

2. 各类表面的加工分析

(1) 外形表面的加工分析

各种模具零件的加工都从外形表面加工开始，并为成形表面和结构表面的后续加工奠定基础。在模具零件的毛坯设计和加工中，应使外形表面的加工余量适当，避免材料浪费和减少后续加工工作量。对于锻件和铸件毛坯，在毛坯加工阶段应进行必要的退火和时效热处理，减少材料内应力和为后续加工做好金相组织准备。

在模具零件的外形表面中，有的表面是后续加工的划线面和划线、尺寸加工的基准面；有的是零件间相联的接合面、模具的分型面、模具和机床联接的安装面。对于将作为划线面、基准面、接合面、分型面、安装面的平面外形表面，表面粗糙度 $R_a \leqslant 0.8\ \mu m$，其余平面外形表面 $R_a = 6.3\ \mu m$ 即可。平面外形表面的形位精度要求有平面的平面度和平面间的平行度和垂直度。这些形位要求，有的是在模具设计中已经规定和要求的，有的是由于零件加工工艺的要求，必须在加工中保证的。

平面外形表面的加工：大的在龙门刨床刨削加工，中型在牛头刨床，小型在铣床上。对于相邻表面的垂直度要求，一般在平面磨床上利用专门夹具来定位夹紧后的磨削来保证垂直度要求，精度检查可以通过直角尺来测量。对于外形表面为矩形和方形的复杂形面和镶块、拼块，一般应进行 6 个面的平面磨削，并达到平行度和垂直度的要求。

对于外圆柱体或圆锥体的外形表面，在车床上进行加工，一般通过一次装夹，在车削外旋转表面的同时，车削端面，并可以在中心部位进行钻孔、铰孔和镗孔，以保证各相关表面的同轴度、垂直度的要求。对于尺寸较大和质量较大的零件，多采用立式车床；对于中、小型号零件常采用卧式车床；对于细长轴零件，由于刚度较差，采取两端装夹和支承的方法进行车削；对于母线为曲线的旋转体零件常采用数控车加工。

(2) 成形表面的加工分析

1) 成形表面分类

① 按成形表面所形成的实体与否，分为外型面和内型面。当内型面为通孔时，称为型孔，当内型面为盲孔时称为型腔。

② 按型面的截面的几何形状特征来分，分成圆形截面和异形截面。

③ 按照曲面的可变坐标点数量不同，可分为二维曲面和三维曲面。

2) 成形表面加工方法分类

① 机械力的切削加工。

② 特种加工(电、热、光和化学)。

③ 专门加工(精密铸造、挤压成型和超塑成型)。

实际加工过程中，需根据零件成形表面的特征、零件材料及热处理要求，尺寸精度和形位精度，与其他相关零件的关系来确定加工方法。

成形表面特点是不仅尺寸精度要求高，而且表面粗糙度要求也高。因此，成形表面的加工又分成两大步骤：第一步为尺寸加工；第二步是通过研磨和抛光的光整加工，使成形表面达到所需尺寸精度和表面粗糙度。

(3) 结构表面的加工分析

结构表面的类型有平面、斜面、圆柱面、圆锥面，不同形状的通槽、半通槽、不同形状的台阶孔。

对于零件的结构表面，在加工工序安排上，不能仅仅考虑单个零件，而且应该考虑零件和其他相关零件的一致性和协调关系，以及零件材料和热处理的要求。有些零件的结构表面可以在零件的加工阶段完成，而有的零件的结构表面必须在装配阶段才能进行加工，要考虑不同零件之间的装配关系，以保证相关零件的一致性。有的结构表面在零件加工阶段，预留有一定的试修量，在装配阶段通过试修来保证相关零件的协调。

(4) 分型面的加工分析

分型面是塑料模和其他型腔模的动模和定模的接合面。分型面根据成型的产品零件而有所不同。对于单一平面分型面，它本身是外形表面的一部分，在外形表面加工时应保证基本要求。除单一分型面以外的其他复合分型面，它们是成形表面的一部分。均需动模和定模的分型面之间有良好的吻合性。

分型面的加工，一般安排在外形表面加工之后进行。对于单一平面分型面的加工按一般切削加工方法处理。对于复杂分型面的加工，在外形表面加工后，将划线和基准面磨削之后，进行划线，然后进行切削加工的粗加工，再根据复杂型面的具体情况，进行切削加工和特种加工的精密加工。分型面都要进行研磨加工，使动、定模的分型面有良好的吻合性。在分型面加工完毕再进行成形表面的加工。

4.2.2　模具成型零件的机械加工

1. 凸模的加工

(1) 圆形凸模的加工

如图 4-1 所示为圆形凸模的一种结构形式，其加工相对比较容易。加工工艺路线为：毛

坯——车削加工(留磨削余量)——热处理——磨削。

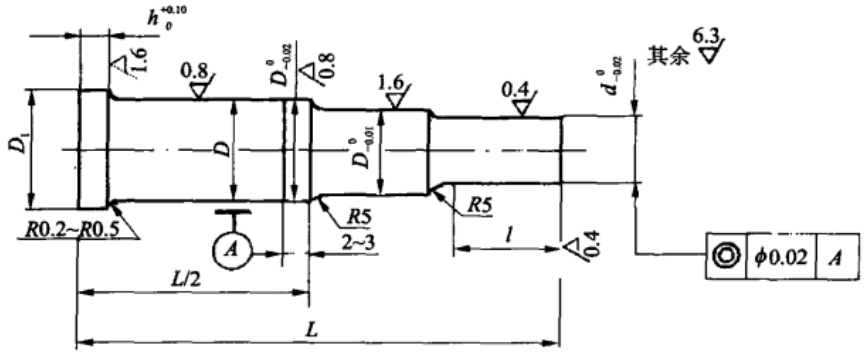


图 4-1 圆形凸模

(2) 非圆形凸模的加工

凸模的非圆形工作型面,分为平面结构和非平面结构。

1) 平面构成的凸模型面加工

① 刨削加工。可采用刨削加工完成粗加工,如图 4-2 所示。

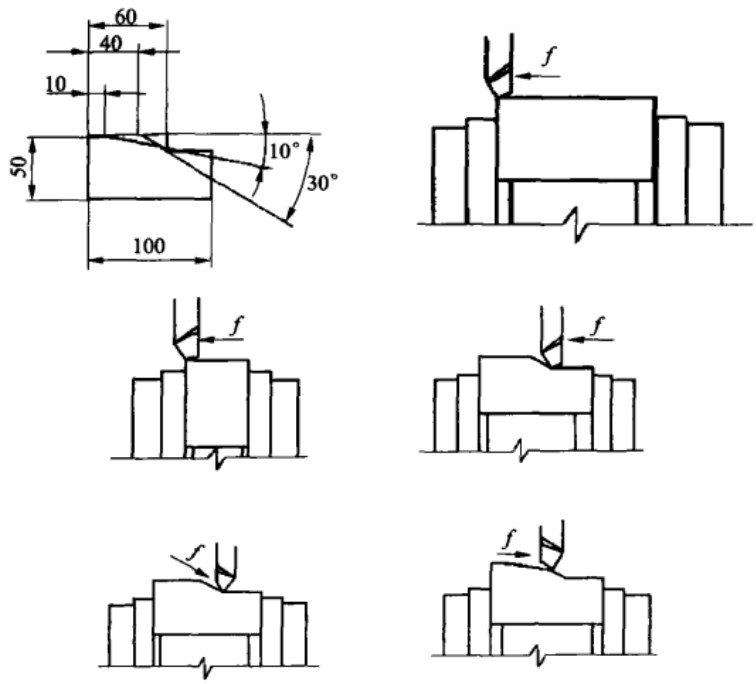


图 4-2 平面结构凸模的刨削加工

② 铣削加工。铣削加工倾斜平面有两种方法:一种是将工件斜置,如图 4-3 所示;另一种是将刀具斜置,如图 4-4 所示,将刀具做成一定的锥度对斜面进行加工,这种方法一般

少用。

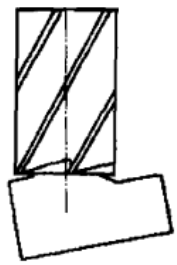


图 4-3　工件斜置铣削

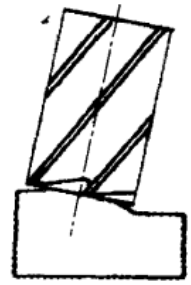


图 4-4　刀具斜置铣削

2）非平面结构的凸模加工

如图 4-5 所示为非平面结构的凸模结构形式，常用的加工方法有：

① 仿形铣床加工　靠仿形销和靠模控制铣刀进行加工。

② 数控铣床加工　加工精度比仿形铣削高。

③ 普通铣床加工　采用划线法进行加工。

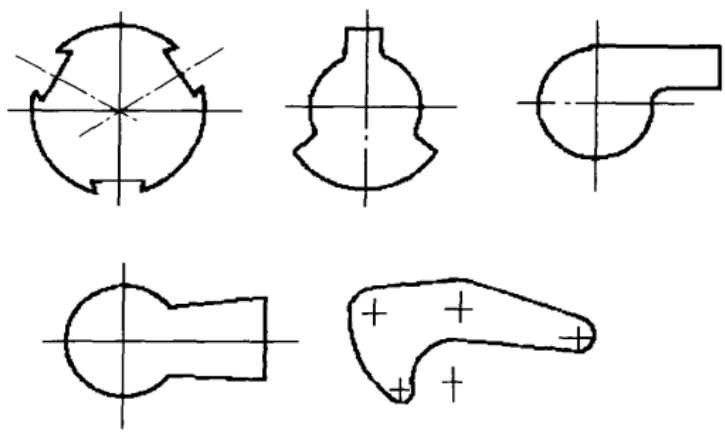


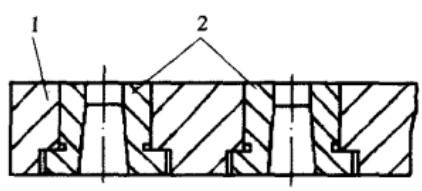
图 4-5　平面结构的凸模

2. 凹模型孔加工

（1）圆形型孔

1）单型孔凹模

单型孔凹模加工工艺路线一般为：毛坯——锻造——退火——车削、铣削——钻、镗型孔——划线——钻固定孔——攻螺纹、铰销孔——淬火、回火——磨削上、下平面及型孔。



1—固定板；2—凹模镶件

图 4-6　镶块结构的凹模

2）多型孔凹模

常采用坐标法进行加工。

① 镶入式凹模　常见镶入式凹模结构形式如图 4-6 所示。

在坐标镗床上按坐标法镗孔，是将各型孔间的尺寸转化为直角坐标尺寸进行加工，如图 4－7 所示。加工时把被加工工件正确安装在工作台上，使互相垂直的两个基准面分别平行于工作台的纵向和横向。再使工件的基准面对准主轴的中心，使用的工具为定位角铁和光学中心测定器，如图 4－8 所示。

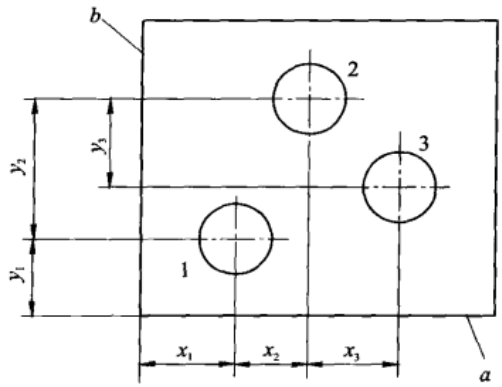
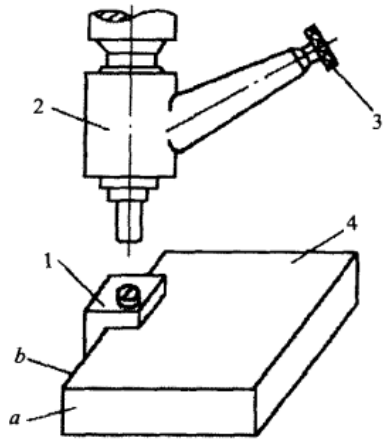


图 4－7　孔系的直角坐标尺寸



1—定位角铁；2—光学中心测定器；3—目镜；4—工件

图 4－8　用定位角铁和光学中心测定器找正

加工分布在同一圆周上的孔，可以使用坐标镗床的机床附件——万能回转工作台。

② 整体式凹模　整体式凹模加工工艺路线为：毛坯——锻造——退火——粗加工——半精加工——钻、镗型孔——淬火、回火——磨削上、下平面，型孔。

(2) 非圆形型孔

如图 4－9 所示为非圆形型孔的结构形式。

非圆形型孔凹模，通常将毛坯锻造成矩形，加工各平面后进行划线，再将型孔中心的余料去除。图 4－10 所示是沿型孔轮廓线钻孔。

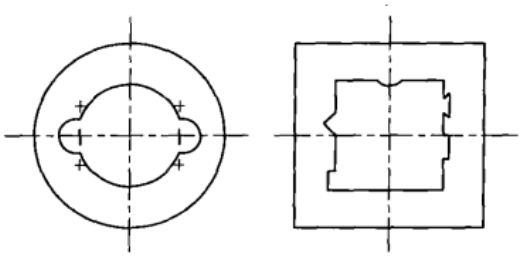


图 4－9　非圆形型孔凹模

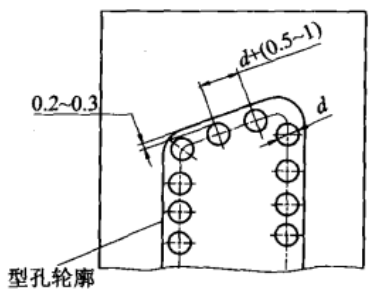


图 4－10　沿型孔轮廓线钻孔

凹模尺寸较大时，也可用气割方法去除。型孔还可采用仿形铣削、数控立铣加工、万能工具铣床加工。

3. 型腔加工

(1) 车削加工

用车削加工模具型腔可采用仿形车削，主要用于回转曲面的型腔或型腔的回转曲面部分的加工，如图 4－11 所示直径为 ϕ44.7 的球面部分的车削加工。

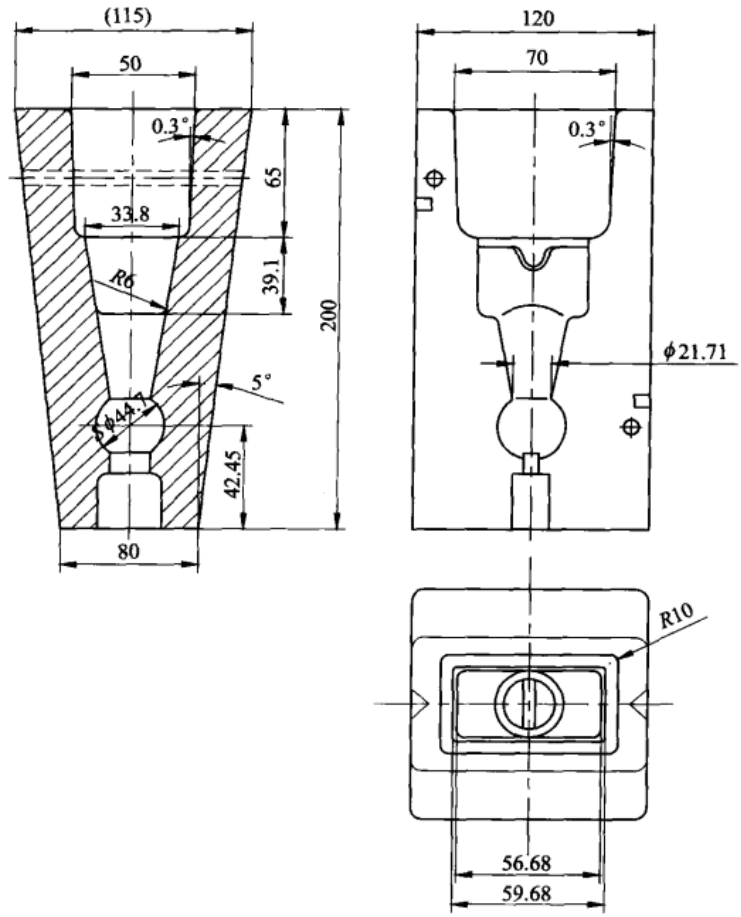


图 4－11　对拼式塑压模型腔

① 将坯料加工为平行六面体，斜面暂不加工。

② 在拼块上加工出导钉孔和工艺螺孔，见图 4－12，为车削时装夹用。

③ 将分型面磨平，在两拼块上装导钉，一端与拼块 A 过盈配合，一端与拼块 B 间隙配合，如图 4－12 所示。

④ 将两拼块拼合后磨平四侧面及一端面，保证垂直度，要求两拼块厚度保持一致。

⑤ 在分型面上以球心为圆心，以 44.7 mm 为直径划线，保证 $H_1=H_2$，如图 4－13 所示。

⑥ 可采用机械仿形、液压仿形或电气仿形车削加工，对拼块上的球面进行加工。

(2) 铣削加工

1) 普通铣床加工型腔

立式铣床和万能工具铣床适合于加工平面结构的型腔。加工型腔时，由于刀具加长，必须考虑由于切削力波动导致刀具倾斜变化造成的误差。

为加工出某些特殊的形状部位，在无适合的标准铣刀选用时，可采用图 4－14 所示适合于不同用途的单刃铣刀。

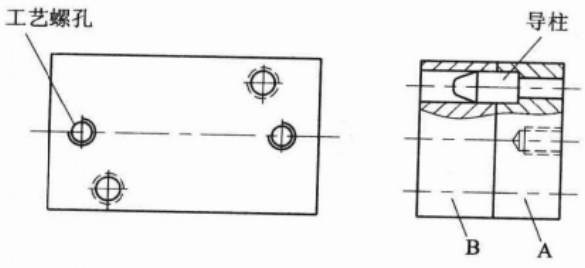


图 4－12　拼块上的工艺螺孔和导钉孔

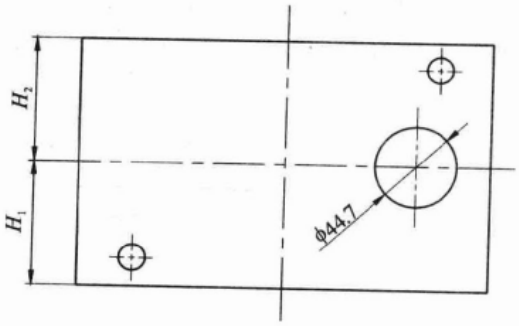


图 4－13　划线

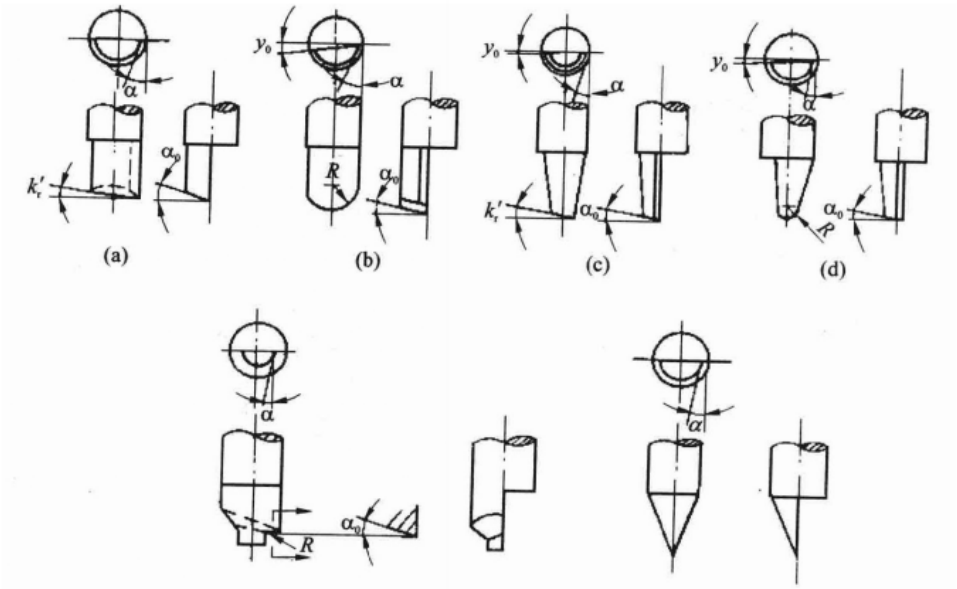


图 4－14　单刃铣刀

为提高铣削效率，对某些铣削余量较大的型腔，铣削前可在型腔轮廓线的内部连续钻孔，孔的深度与型腔的深度接近，如图 4－15 所示。

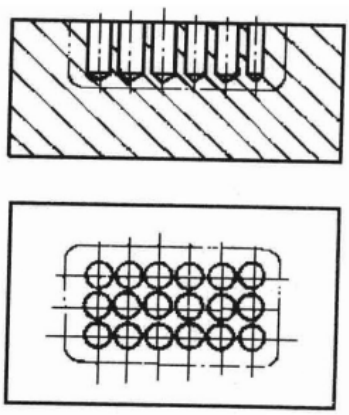


图 4－15　型腔钻孔示意图

2）仿形铣床加工型腔

特别适合于加工具有曲面结构的型腔。常用仿形铣床有立式、卧式仿形铣床，可用于加工平面轮廓、立体曲面等。其加工方式有：

① 按平面轮廓仿形　铣削时靠模销沿着靠模外形运动，不作轴向运动，铣刀也只沿工件的轮廓铣削，不作轴向运动，如图 4－16(a)所示。可用于加工轮廓形状复杂、深度不变的型腔。

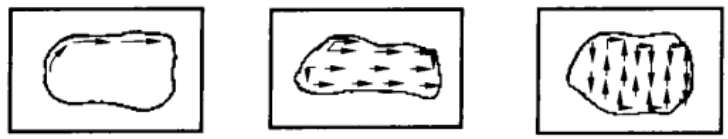


图 4－16　仿形铣削方式

② 按立体轮廓仿形　按照铣刀切削运动的路线可分为水平分行和垂直分行。

水平分行如图 4－16(b)所示，工作台作水平移动，铣刀进行切削，铣刀切削到型腔端边缘，主轴箱在垂直方向做一进给运动，然后铣刀再做反向水平进给，如此反复直至加工出所需的型腔表面。

垂直分行如图 4－16(c)所示，机床主轴作连续的垂直进给，到达型腔端部时工作台在水平方向作一次水平横向进给，主轴再反向进给。

周期进给的方向与半圆柱面的轴线方向平行，如图 4－17(a)所示。

周期进给的方向与半圆柱面的轴线方向垂直，如图 4－17(b)所示。

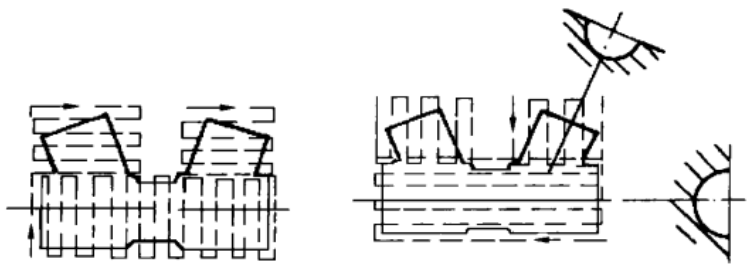


图 4－17　具有半圆形截面的型腔

3) 数控铣床加工

数控铣床加工不需要制造仿形靠模，加工精度高，一般可达 0.02～0.03 mm，对同一形状进行重复加工，具有可靠的再现性。通过数控指令实现了加工过程自动化，减少了停机时间，使加工的生产效率得到提高。

带刀库和自动换刀装置的铣镗加工中心具有快速换刀功能，能进行铣、钻、镗和攻螺纹等加工，一次装夹工件后能自动完成工件的大部或全部加工。

采用数控铣床进行三维形状加工的控制方式有：

① 两轴联动控制。两轴控制是指机床可以同时控制坐标为 2 个。如图 4－18(a)所示为同时控制 X，Y 坐标的两轴控制曲线轮廓加工。

② 2.5 轴联动控制。2.5 轴控制指机床可控坐标轴是 3 轴，但在某一时刻同时控制的轴数是 2 轴，并可实现两两联动的控制。同时控制 Y，Z 坐标和 Z，X 坐标时，可加工如图 4－18(b)所示形状的零件。

③ 三轴联动控制。三轴控制是指同时控制 X，Y，Z 三个坐标轴，这样刀具在轮廓的任意方向都可移动，能够进行三维的立体加工，如图 4－18(c)所示。

④ 四轴联动控制。四轴控制是指同时控制 4 个坐标运动。即在 3 个移动坐标之外，再加

一个旋转坐标。同时控制 4 个坐标 X,Y,Z,A 所加工的零件如图 4－18(d)所示。

⑤ 五轴联动控制。五轴控制是一种很重要的加工形式。五轴是指除了直线坐标 X,Y,Z 以外，再加上围绕这些直线坐标旋转 A,B,C 中的任意 2 个坐标，形成同时控制的 5 个坐标，即 X,Y,Z 坐标与转台的回转、刀具的摆动，同时联动(也可以是 X,Y,Z 坐标与两轴的数控转台联动，或刀具做两个方向的摆动)，这时刀具可以指向空间中的任意方向。进行如图 4－18(d)所示的曲面切削加工时，可以使刀具端面对曲面保持一定的角度。也可在一次装夹的情况下，能实现任意方向的孔加工。五轴同时控制，还可以加工表面的凹入部分进行加工，如图 4－19 所示。



图 4－18　多轴联动数控铣削示意图

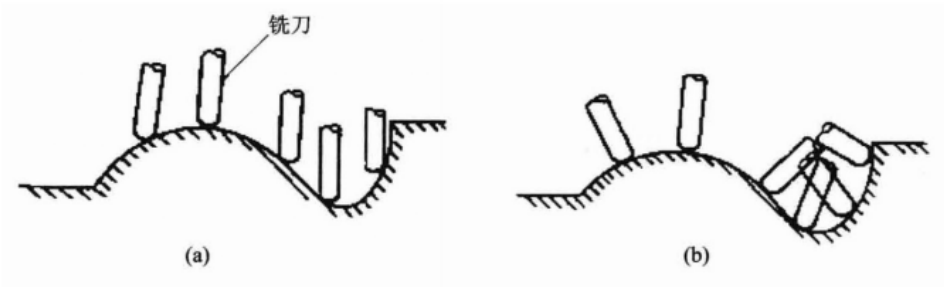


图 4－19　五轴控制与三维控制比较

(3) 磨削加工

磨削加工也是精加工的一种方法，既可以对模具型腔、凹模型孔、凸模等成型零件表面进行精加工，也可以加工模具其他结构零件。下面介绍磨削加工模具零件的主要方法。

1) 成形磨削

成形磨削方法主要包括成形砂轮磨削法和夹具成形磨削法。

成形砂轮磨削法是将砂轮修整成与工件被磨削表面完全吻合的形状，进行磨削加工，以获所需要的成形表面，如图 4－20 所示。

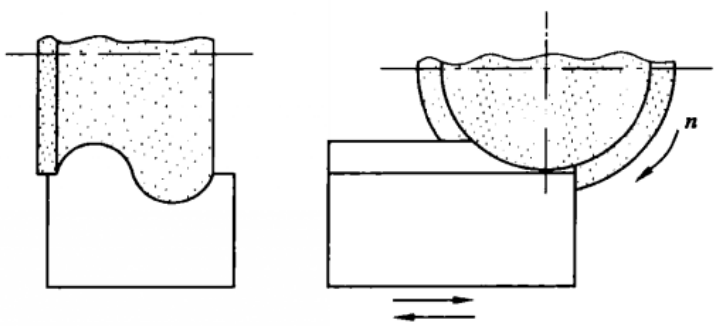
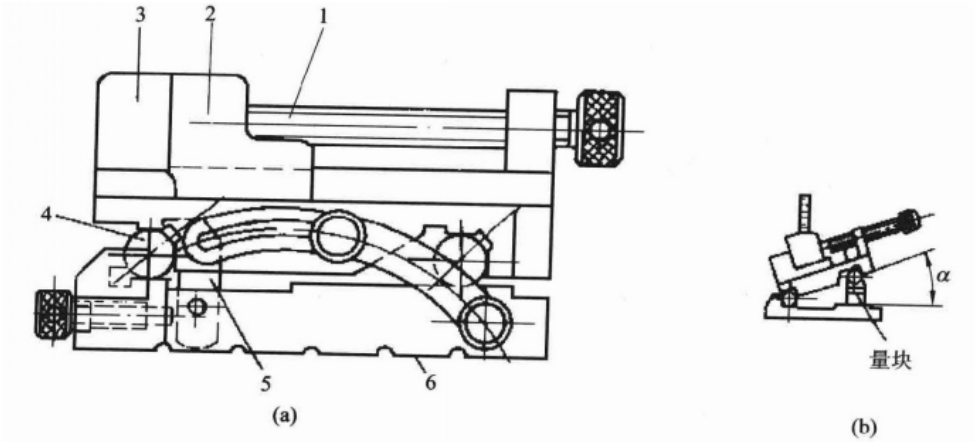


图 4－20　成型砂轮磨削法

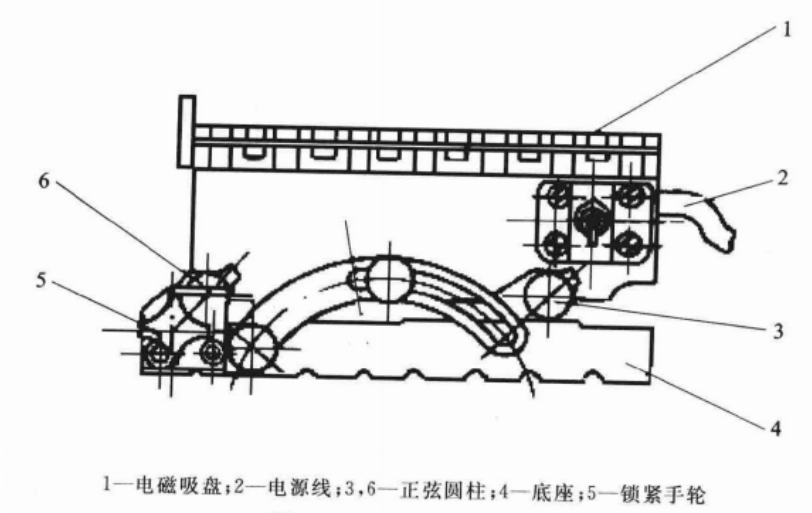
夹具磨削法是借助于夹具，使工件的被加工面处在所要求的空间位置上进行磨削。图 4－21 所示为正弦精密平口钳磨削工件平面，其中图 4－21(b)所示为磨削示意图。



1—螺柱；2—活动钳口；3—虎钳体；4—正弦圆柱；5—压板；6—底座

图 4－21　正弦精密平口钳

图 4－22 所示为正弦磁力夹具。



1—电磁吸盘；2—电源线；3，6—正弦圆柱；4—底座；5—锁紧手轮

图 4－22　正弦磁力夹具

被磨削表面的尺寸常采用测量调整器、量块和百分表进行比较测量。

例如图 4－23 所示凸模，采用正弦磁力夹具在平面磨床上磨削斜面 a，b 及平面 c。除 a，b，c 面外，其余各面均已加工到设计要求。

凸模磨削工艺过程为：

① 将夹具置于机床工作台上，找正。

② 以 d 及 e 面为定位基准磨削 a 面　调整夹具使 a 面成水平位置，如图 4－24(a)所示。

调整夹具的量块尺寸为 $H_1=150\ \text{mm}\times\sin 10°=26.047\ 2\ \text{mm}$。

检测磨削尺寸的量块尺寸为 $M_1=[(50-10)\times\cos 10°-10]\ \text{mm}=29.392\ \text{mm}$。

③ 磨削 b 面　调整夹具使 b 面处于水平位置，如图 4－24(b)所示。

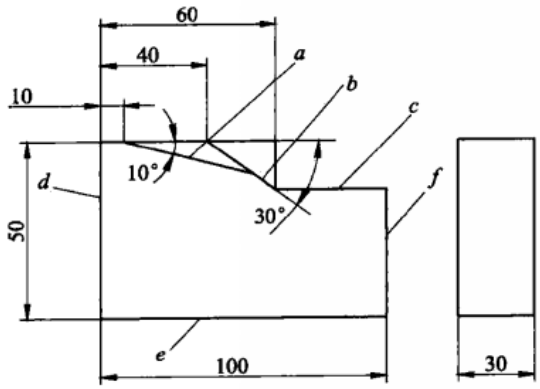


图 4-23 凸 模

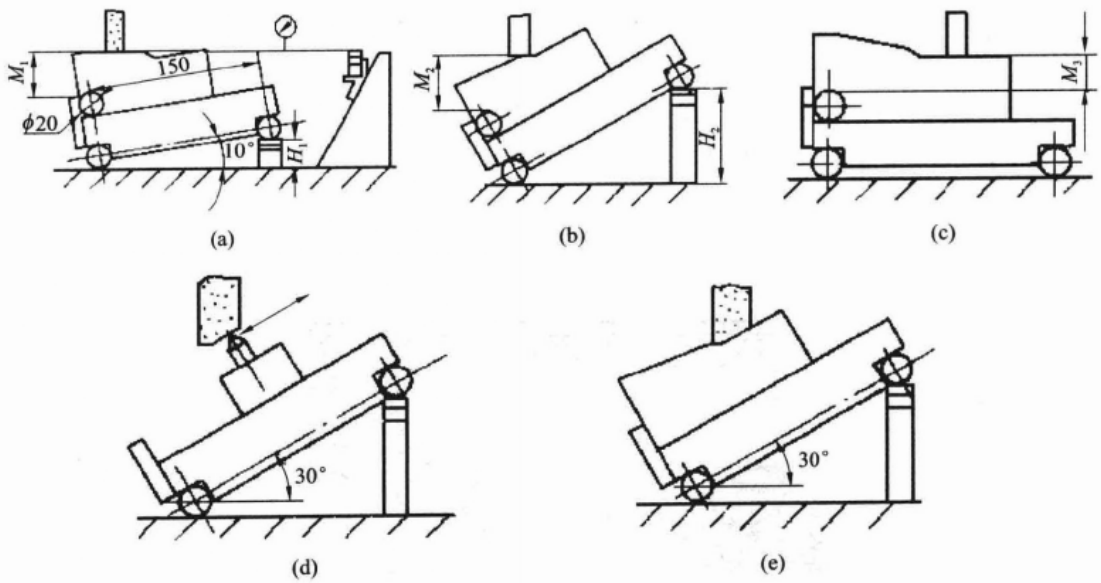


图 4-24 用单向磁力夹具磨削凸模

调整夹具的量块尺寸为 $H_1=150\ \text{mm}\times\sin30°=75\ \text{mm}$。

检测磨削尺寸的量块尺寸为

$$M_1=\{[(50-10)+(40-10)\times\tan30°]\times\cos30°-10\}\ \text{mm}=39.641\ \text{mm}$$

④ 磨削 c 面：调整夹具磁力台成水平位置，如图 4-24(c)所示。

检测磨削尺寸的量块尺寸：

$$M_1=\{50-[(60-40)\times\tan30°+20]\}\ \text{mm}=18.453\ \text{mm}$$

⑤ 磨削 b，c 面的交线部位：用成形砂轮磨削，调整夹具磁力台与水平面成 30°，砂轮圆周修整出部分锥角为 60°的圆锥面，如图 4-24(d)所示。

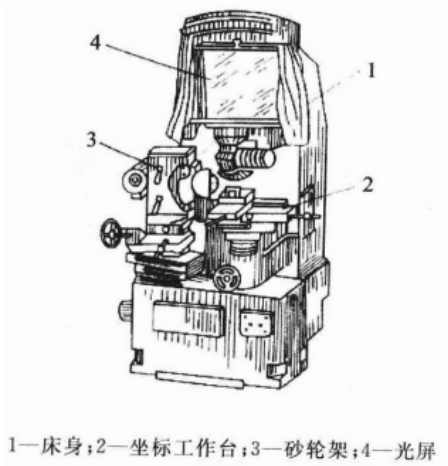
砂轮的外圆柱面与处于水平位置的 b 面部分微微接触，再使砂轮慢速横向进给，直到 c 面也出现微小的火花，加工结束，如图 4-24(e)所示。

2）仿形磨削

仿形磨削是在具有放缩尺的曲面磨床或光学曲面磨床上，按放大样板或放大图对成形表

面进行磨削加工。主要用于磨削尺寸较小的凸模和凹模拼块，加工零件精度可达±0.01 mm，表面粗糙度 R_a 可达 0.63～0.32 μm。

如图 4－25 所示为光学曲线磨床，砂轮架用来安装砂轮，它能做纵向和横向送进（手动），可绕垂直轴旋转一定角度以便将砂轮斜置进行磨削，如图 4－26 所示。



1—床身；2—坐标工作台；3—砂轮架；4—光屏

图 4－25　光学曲线磨床

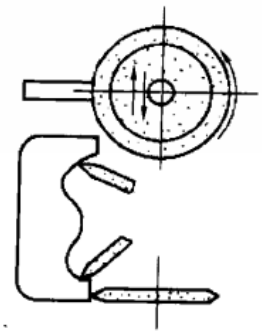


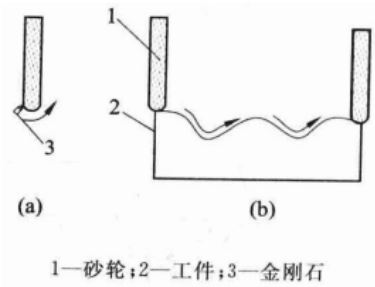
图 4－26　磨削曲线轮廓的侧边

3）数控成形磨削

① 利用数控装置控制安装在工作台上的砂轮修整装置，修整出需要的成形砂轮，用此砂轮磨削工件，磨削过程和一般的成形砂轮磨削法相同。

② 数控仿形磨削如图 4－27 所示，先由数控机床修整砂轮成圆弧或双斜边圆弧形，如图 4－27(a)所示，再做垂直和横向进给运动，完成磨削加工，如图 4－27(b)所示。

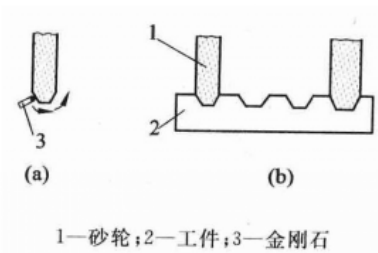
③ 复合磨削如图 4－28 所示，磨削前由数控机床将砂轮修整成工件形状的一部分，如图 4－28(a)所示，并控制砂轮依次磨削工件的不同部位，如图 4－28(b)所示。



1—砂轮；2—工件；3—金刚石

图 4－27　数控仿形磨削

成形磨削时，凸模不能带凸肩，如图 4－29 所示。当凸模形状复杂，某些表面因砂轮不能进入无法直接磨削时，可考虑将凸模改成镶拼结构。



1—砂轮；2—工件；3—金刚石

图 4－28　复合磨削

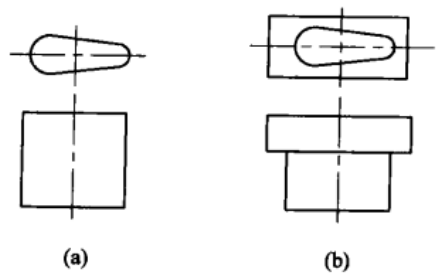


图 4－29　凸模结构

4）坐标磨床加工

坐标磨床的砂轮能做自转、行星运动及沿机床主轴轴线方向的直线往复运动，如图 4－30 所示。

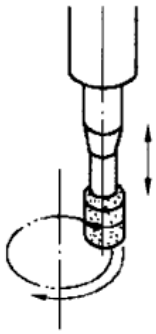


图 4－30　砂轮的 3 种运动

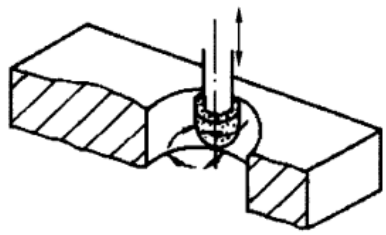


图 4－31　内孔磨削

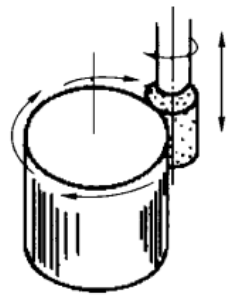


图 4－32　外圆磨削

磨削加工的基本方法有：

① 内孔磨削　如图 4－31 所示。

② 外圆磨削　如图 4－32 所示。

③ 锥孔磨削　如图 4－33 所示。

④ 直线磨削　如图 4－34 所示。

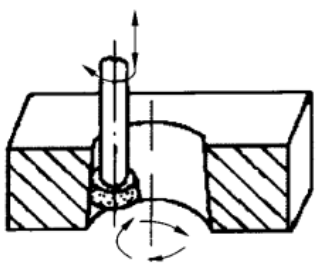


图 4－33　锥孔磨削

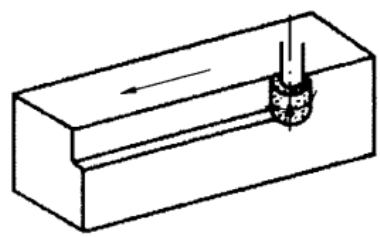


图 4－34　直线磨削

⑤ 侧磨　如图 4－35 所示。

⑥ 异形孔磨削　如图 4－36 所示。

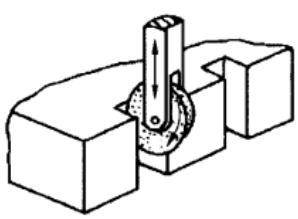


图 4－35　侧　磨

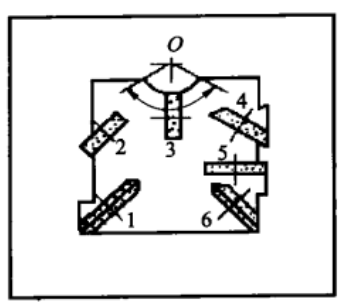
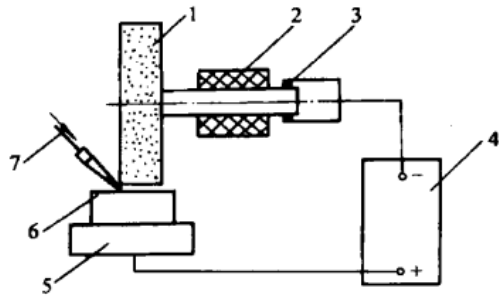


图 4－36　磨削异形孔

5）电解磨削

电解磨削是利用阳极溶解和机械磨削两种作用的复合加工。

磨削原理如下：导电砂轮（用铜粉或石墨作为粘结剂的砂轮或电镀金刚石砂轮）接负极，工件接正极，加工时在砂轮和工件间喷入电解液，接通直流电源，工件表面发生电解作用，并产生一层极薄的阳极钝化膜，随即被砂轮刮除，有利于新表面的电解。电解磨削过程中，金属主要靠电解作用来蚀除的，砂轮只起刮除阳极钝化膜和整平工件表面的作用，如图 4－37 所示。



1—导电砂轮；2—绝缘套；3—导流环；4—直流电源；5—工作台；6—工件；7—电解液

图 4－37　电解磨削原理图

电解磨削的特点是生产率比机械磨削高 3～5 倍，砂轮的磨耗量也低得多，而耗电量比电解加工低得多，加工精度高于电解加工，与磨削相似，表面粗糙度值比磨削小一些。

电解磨削可以用于内、外圆磨削、成形磨削、平面磨削等。适用于加工淬硬钢、不锈钢、耐热钢、硬质合金等材料，尤其对硬质合金刀具刃磨、模具的磨削更为有利，与其相似的还有电解珩磨，电解研磨等，用于加工轧辊、深孔、薄壁等工件表面。

4. 模具工作零件的加工工艺路线实例分析

（1）凸模的加工工艺路线

图 4－38 所示为凸模。

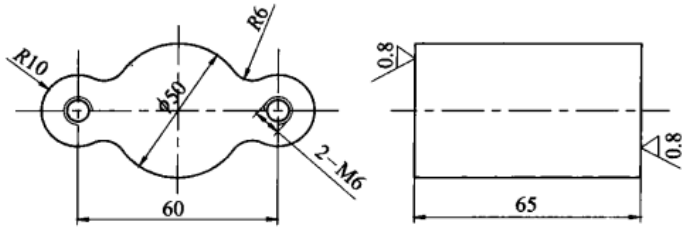


图 4－38　凸　模

其加工工艺路线见表 4－1。

表 4－1　凸模的工艺路线

工序号	工序名称	工序内容
1	备料	按尺寸 90 mm×60 mm×70 mm 将毛坯锻成矩形
2	热处理	退火
3	粗加工毛坯	铣（刨）六面，保证尺寸
4	磨平面	磨两大平面及相邻的侧面保证垂直
5	钳工划线	划刃口轮廓线及螺孔线
6	刨型面	按线刨刃口型面留单边加工余量 0.3 mm
7	钳工修正	保证表面平整，余量均匀，加工螺孔
8	热处理	按热处理工艺保证 58～62HRC
9	磨端面	磨两端面保证与型面垂直
10	磨型面	成形磨刃口型面达设计要求

(2) 凹模的加工工艺路线

图 4-39 所示为与上述凸模相对应的凹模。其加工工艺路线见表 4-2。

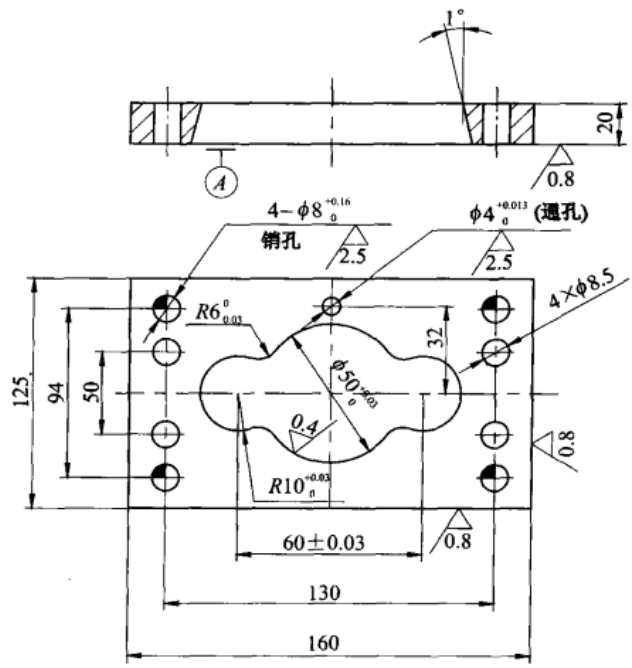


图 4-39 凹 模

表 4-2 凹模的工艺路线

工序号	工序名称	工序内容
1	备料	将毛坯锻成平行六面体。尺寸为：166 mm×130 mm×25 mm
2	热处理	退火
3	铣(刨)平面	铣(刨)各平面，厚度留磨削余量 0.6 mm，侧面留磨削余量 0.4 mm
4	磨平面	磨上下平面，留磨削余量 0.3～0.4 mm 磨相邻两侧面保证垂直
5	钳工划线	划出对称中心线，固定孔及销孔线
6	型孔粗加工	在仿铣床上加工型孔，留单边加工余量 0.15 mm 及销孔
7	加工余孔	加工固定孔及销孔
8	热处理	按热处理工艺保证 60～64HRC
9	磨平面	磨上下面及其基准面达要求
10	型孔精加工	在坐标磨床上磨型孔，留研磨余量 0.01 mm
11	研磨型孔	钳工研磨型孔达规定技术要求

4.2.3 模架及其他结构零件的机械加工

1. 冷冲模模架零件的机械加工

模架的主要作用是用来安装模具的成型零件和其他结构零件，并保证模具的工作部分在工作时具有正确的相对位置。主要组成为上下模座、导柱、导套，其结构尺寸已标准化。

(1) 导柱和导套的加工

导柱和导套在模具中起导向和定位的作用，并保证凸模和凹模在工作时具有正确的相对位置；保证模架的活动部分运动平稳、无阻滞现象。

如图 4－40(a)(b)所示分别为冷冲模标准的导柱和导套。

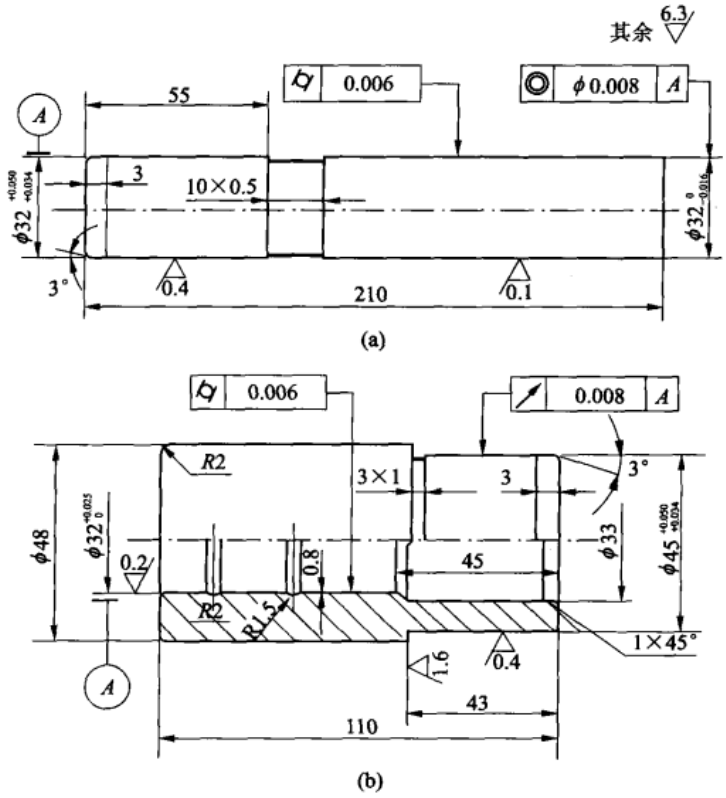


图 4－40　导柱和导套

构成导柱和导套的基本表面都是回转体表面，按图示的结构尺寸和设计要求，可直接选用热轧圆钢作为毛坯。

1) 导柱的加工

导柱加工工艺路线见表 4－3。

表 4－3　导柱的加工工艺路线

工序号	工序名称	工序内容	设　备
1	下料	按尺寸 φ35 mm×215 mm 切断	锯床
2	车端面钻中心孔	车端面保证长度 212.5 mm 钻中心孔 调头车端面保证 210 mm 钻中心孔	卧式车床

续表 4-3

工序号	工序名称	工序内容	设　备
3	车外圆	车外圆至 ϕ32.4 mm 切 10 mm×0.5 mm 槽到尺寸 车端部 调头车外圆至 ϕ32.4 mm 车端部	卧式车床
4	检验		
5	热处理	按热处理工艺进行，保证渗碳层深度 0.8～1.2 mm，表面硬度 58～62HRC	
6	研中心孔	研中心孔 调头研另一端中心孔	卧式车床
7	磨外圆	磨 ϕ32h6 外圆留研磨量 0.01 mm 调头磨 ϕ32r4 外圆到尺寸	外圆磨
8	研磨	研磨外圆 ϕ32h6 达要求 抛光圆角	卧式车床
9	检验		

导柱加工时，外圆柱面的车削和磨削都是以两端的中心孔定位，使设计基准与工艺基准重合。若中心孔有较大的同轴度误差，将导致中心孔和顶尖不能良好接触，影响加工精度，如图 4-41 所示。

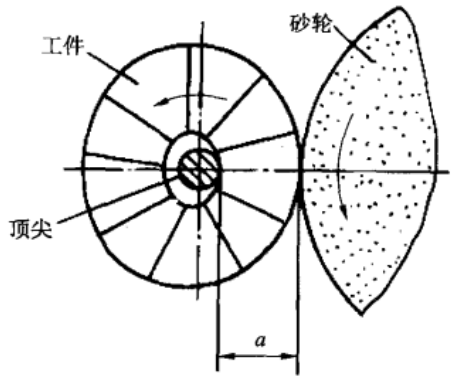
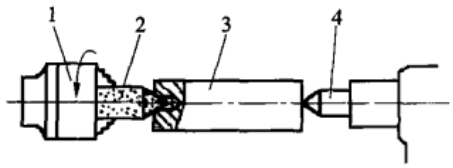


图 4-41　中心孔的圆度误差使工件产生圆度误差

修正中心孔可采用磨、研磨和挤压等方法，可在车床、钻床或专用机床上进行。车床用磨削方法修正中心孔如图 4-42。挤压中心孔的硬质合金多棱顶尖如图 4-43。



1—三爪自定心卡盘；2—砂轮；3—工件；4—尾顶尖

图 4-42　磨中心孔

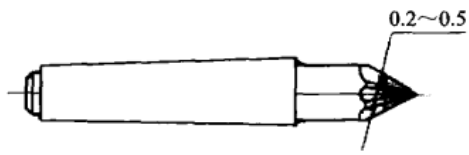


图 4-43　多棱顶尖

导柱在热处理后修正中心孔，在于消除中心孔在热处理过程中可能产生的变形和其他缺陷。

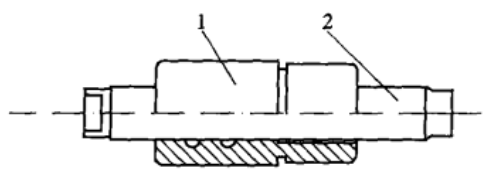
2）导套的加工

导套加工工艺路线见表 4－4。

表 4－4　导套的加工工艺路线

工序号	工序名称	工序内容	设　备
1	下料	按尺寸 ϕ52 mm×115 mm 切断	锯床
2	车外圆及内孔	车端面保证长度 113 mm 钻 ϕ32 mm 孔至 ϕ30 mm 车 ϕ45 mm 外圆至 ϕ45.4 mm 倒角 车 3×1 退刀槽至尺寸 镗 ϕ32 mm 孔至 ϕ31.6 mm 镗油槽 镗 ϕ32 mm 孔至尺寸 倒角	卧式车床
3	车外缘倒角	车 ϕ48 mm 的外圆至尺寸 车端面保证长度 110 mm 倒内外圆角	卧式车床
4	检验		
5	热处理	按热处理工艺进行，保证渗碳层深度 0.8～1.2 mm，硬度 58～62HRC	
6	磨内外圆	磨 45 mm 外圆达图样要求 磨 32 mm 内孔，留研磨量 0.01 mm	万能外圆磨床
7	研磨内孔	研磨 ϕ32 mm 孔达图样要求 研磨圆弧	卧式车床
8	检验		

导套加工时要正确选择定位基准，以保证内、外圆柱面的同轴度要求。单件生产时，采用一次装夹磨出内、外圆，可避免由于多次装夹带来的误差，但每磨一件需重新调整机床；批量加工时，可先磨内孔，再把导套装在专门设计的具有高精度的锥度（锥度 1/1 000～1/ 5000，60HRC 以上）心轴上，以心轴两端的中心孔定位，磨削外圆柱面，如图4－44 所示。



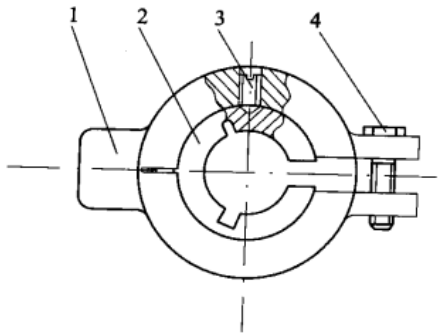
1—导套；2—心轴

图 4－44　用小锥度心轴安装导套

3）导柱和导套研磨加工

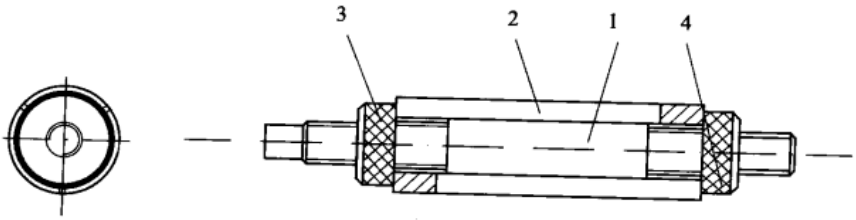
导柱和导套研磨加工，目的是进一步提高被加工表面的质量，以达到设计要求。大批量生产时，可在专用研磨机床上研磨；单件小批量生产时，可采用简单的研磨工具在普通车床上进

行研磨，图 4－45 和图 4－46 所示分别为导柱研磨工具和导套研磨工具。



1—研磨架；2—研磨套；3—止动螺钉；4—调整螺钉

图 4－45　导柱研磨工具



1—锥度心轴；2—研磨套；3，4—调整螺母

图 4－46　导套研磨工具

（2）上、下模座的加工

冷冲压模具的上、下模座是用来安装导柱、导套，连接凸、凹模固定板等零件，并与压力机直接相连接。图 4－47(a)(b)所示分别为后侧导柱的标准上模座和下模座，其材料多为铸铁或铸钢。

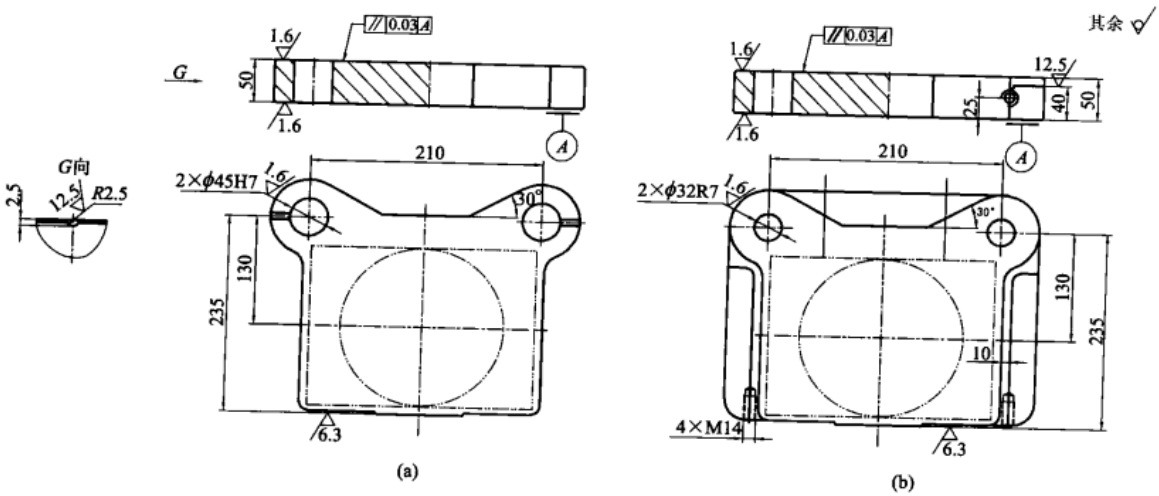


图 4－47　冷冲模座

为保证模架的装配要求，使模架工作时上模座沿导柱上、下运动平稳，无阻滞现象，加工后模座的上、下平面应保持平行，模座上、下平面的平行度公差见表 4－5。上、下模座上的导柱、导套的孔间距应保持一致，孔心线应与模座的上、下平面垂直，对滑动导柱的模座，其垂直度公差不超过 100∶0.01。

表 4－5　模座上、下平面的平行度公差

基本尺寸/mm	公差等级		基本尺寸/mm	公差等级	
	4	5		4	5
	公差值			公差值	
40～63	0.008	0.012	250～400	0.020	0.030
63～100	0.010	0.015	400～630	0.025	0.040
100～160	0.012	0.020	630～1 000	0.030	0.050
160～250	0.015	0.025	1 000～1 600	0.040	0.060

上、下模座的加工工艺路线见表 4－6。

表 4－6　加工上模座的工艺路线

工序号	工序名称	工序内容及要求
1	备料	铸造毛坯
2	刨(铣)平面	刨(铣)上、下平面，保证尺寸 50.8 mm
3	磨平面	磨上、下平面达尺寸 50 mm；保证平面度要求
4	划线	划前部及导套安装孔线
5	铣前部	按线铣前部
6	钻孔	按线钻导套安装孔至尺寸 ϕ43
7	镗孔	和下模座重叠镗孔达尺寸 ϕ45H7，保证垂直度
8	铣槽	铣 R2.5 mm 圆弧槽
9	检验	

表 4－7　加工下模座的工艺路线

工序号	工序名称	工序内容及要求
1	备料	铸造毛坯
2	刨(铣)平面	刨(铣)上、下平面，保证尺寸 50.8 mm
3	磨平面	磨上、下平面达尺寸 50 mm；保证平面度要求
4	划线	划前部、导柱孔线及螺纹孔线
5	铣床加工	按线铣前部，铣两侧压紧面达尺寸
6	钻床加工	钻导柱孔至尺寸 ϕ30，钻螺纹底孔，攻螺纹
7	镗孔	和上模座重叠镗孔达尺寸 ϕ32R7，保证垂直度
8	检验	

2. 注射模模架零件的机械加工

注射模模架是注射模的骨架和基体，通过它可使模具的成型零件和结构零件有机地联系成为一个整体。模架的基本组成零件有导柱、导套及各种模板(平板状零件)。模架零件加工组合后其安装基准面应保持平行，以保证导柱、导套和复位杆等零件装配后运动灵活、无阻滞现象，其平行度公差等级见表 4－8。

表 4－8　中小型注射模模架分级指标

项目 / 序号	检查项目	主参数/mm		精度分级		
				Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
				公差等级		
1	定模座板的上平面对动模座板的下平面的平行度	周界	≤400	5	6	7
			400～900	6	7	8
2	模板导柱孔的垂直度	厚度	≤200	4	5	6

模具主要分型面闭合时的贴合间隙值应符合模架精度要求：

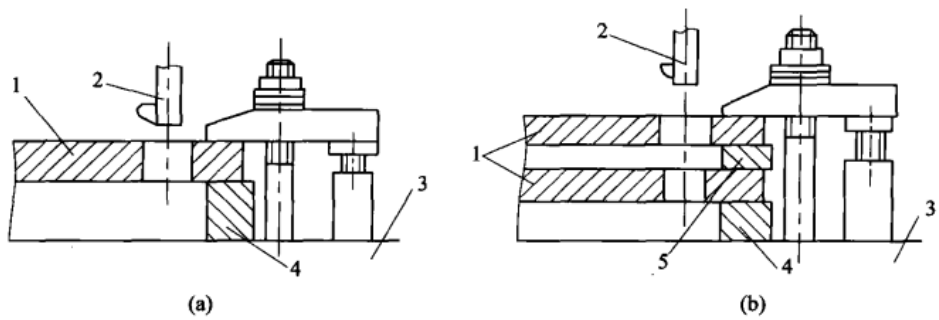
Ⅰ级精度模架，贴合间隙值为 0.02 mm；

Ⅱ级精度模架，贴合间隙值为 0.03 mm；

Ⅲ级精度模架，贴合间隙值为 0.04 mm。

注射模导柱、导套和冷冲模导柱、导套的加工方式是一样的，主要是内、外圆柱面加工，在冷冲模模架的机械加工中已经讲到，这里不再赘述。

支承零件(各种模板、支承板)都是平板状零件，在制造过程中主要进行平面加工和孔系加工。对模板进行孔系加工时，应在模板平面精加工后以模板的大平面及两相邻侧面作定位基准，将模板放置在机床工作台的等高垫铁上，如图 4－48(a)所示。为了保证模板上导柱、导套的孔间距一致，加工时常将两块模板叠放在一起，一次装夹同时加工导柱、导套的安装孔，如图 4－48(b)所示。



1—模板；2—镗刀；3—工作台；4—等高垫铁；5—中间垫块

图 4－48　模板的装夹

3. 其他结构零件的加工

(1) 主流道衬套的加工

主流道衬套的结构及尺寸如图 4－49 所示，材料一般选用 T8A，T10A 等碳素工具钢，热处理淬火硬度要求 53～57HRC。

其余 6.3

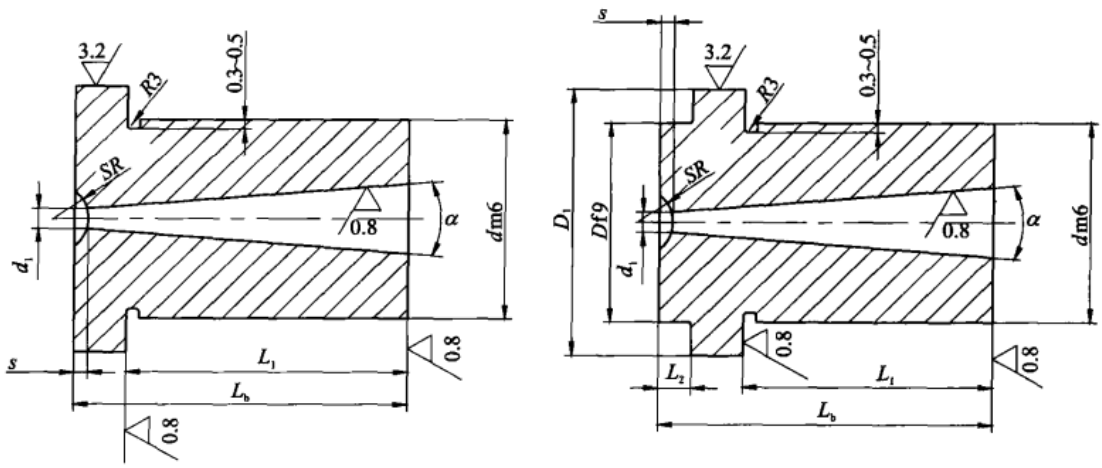


图 4－49　主流道衬套结构及尺寸

主流道衬套加工工艺路线见表 4－9。

表 4－9　加工浇口套的工艺路线

工序号	工序名称	工艺说明
1	备料	按零件结构及尺寸大小选用热轧圆钢或锻件作毛坯 保证直径和长度方向上有足够的加工余量 若主流道衬套凸肩部分长度不能可靠夹持，应将毛坯长度适当加长
2	车削加工	车外圆 d 及端面留磨削余量 车退刀槽达设计要求 钻孔 加工锥孔达设计要求 调头车 D_1 外圆达设计要求 车外圆 D 留磨量 车端面保证尺寸 L_b 车球面凹坑达设计要求
3	检验	
4	热处理	
5	磨削加工	以锥孔定位磨外圆 d 及 D 达设计要求
6	检验	

(2) 侧型芯滑块的加工

侧型芯滑块与导滑槽导滑部分的配合一般采用 H8/f8 或 H8/g7 的间隙配合，滑块材料一

般选用45钢或碳素工具钢，热处理硬度为40～45HRC。侧型芯滑块结构及尺寸如图2－50所示。

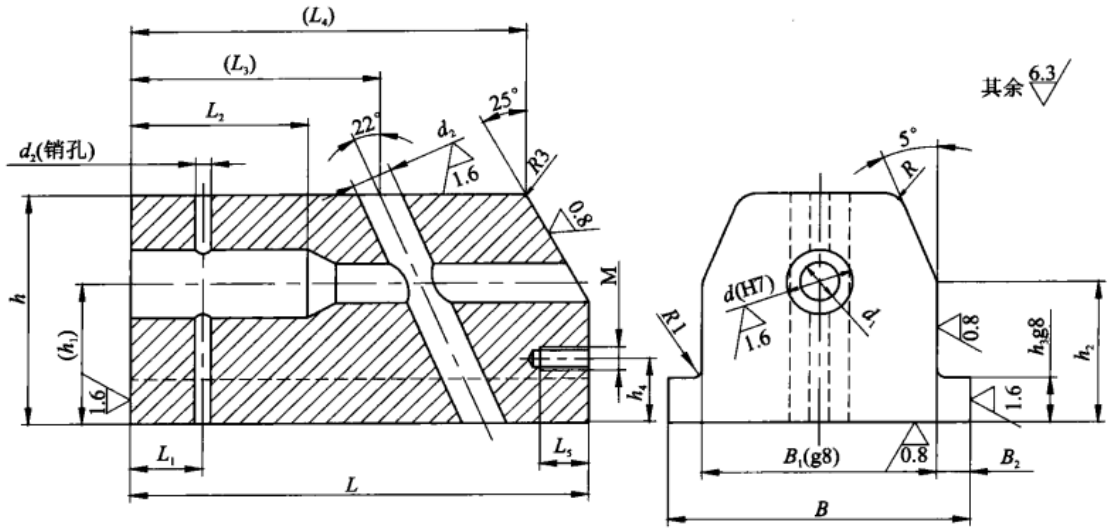


图4－50　侧型芯滑块结构及尺寸

侧型芯滑块的加工路线见表4－10

表4－10　加工侧型芯滑块的工艺路线

工序号	工序名称	工艺路线
1	备料	将毛坯锻成平行六面体，保证各面有足够加工余量
2	铣削加工	铣六面
3	钳工划线	
4	铣削加工	铣滑导部，留磨削余量 铣各斜面达设计要求
5	钳工划线	去毛刺、倒钝锐边 加工螺纹孔
6	热处理	
7	磨削加工	磨滑块导滑面达设计要求
8	镗型心固定孔	将滑块装入滑槽内 按型腔上侧型芯孔的位置确定侧滑块上型芯固定孔的位置尺寸 按上述位置尺寸镗滑块上的型芯固定孔
9	镗斜导柱孔	动模板、定模板组成，楔紧块将侧型芯滑块锁紧 将组成的动、定模板装夹在卧式镗床的工作台上 按斜导柱孔的斜角偏转工作台，镗孔

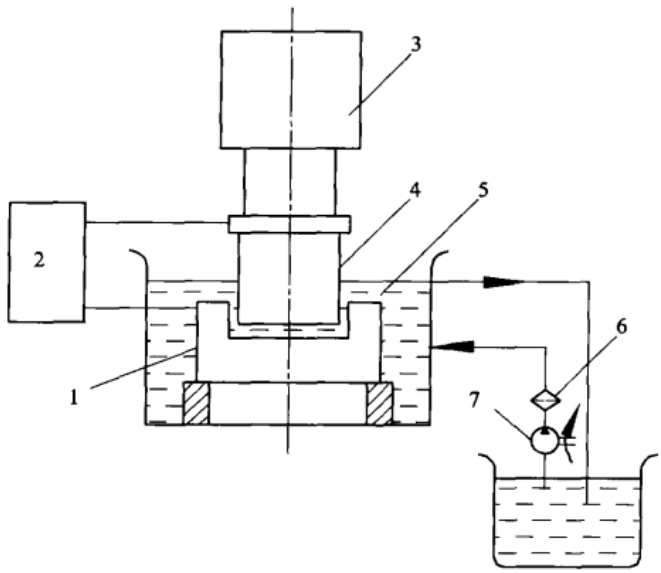
4.2.4　模具成型零件的电火花成型加工

电火花加工又称放电加工或电蚀加工。它是利用在一定的介质中，通过工具电极和工件电极之间脉冲放电的电蚀作用对工件进行加工的一种工艺方法。电火花成型加工适合于加工传统机械加工方法难于加工的材料或零件，如各种高熔点、高强度、高纯度、高韧性材料的加工，模具的型腔和型孔等特殊及复杂形状零件的加工。

1. 电火花成型加工的原理及特点

(1) 电火花成型加工原理

图 4－51 所示为电火花成型加工原理图。先由脉冲电源 2 输出的单向脉冲电压作用在工件 1 和电极 4 上。当电压升高到电极和工件间隙中工作液 5 的击穿电压时，会使介质在绝缘强度最低处被击穿，产生火花放电，瞬间高温使工件和电极表面都被蚀除掉一小块材料，形成小凹坑。多次脉冲放电后，则在工件整个被加工表面形成无数个小凹坑，工具电极的轮廓形状便被复制到工件上，从而完成工件的成型加工。



1—工件；2—脉冲电源；3—自动进给调节装置；4—工具电极；5—工作液；6—过滤器；7—液压泵

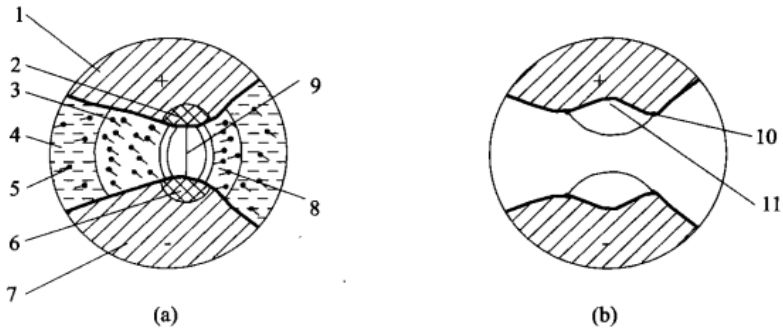
图 4－51　电火花加工原理图

(2) 电火花加工的条件

电火花成型加工应具备以下条件：

① 放电间隙

工具电极和工件表面之间经常保持一定的放电间隙，其间隙大小视加工电压、工作液介质等因素而定，约 0.01～0.1 mm。如果间隙过大，工作电压无法击穿介质，电流接近于零；间隙过小，形成短路接触，极间电压也接近于零。这两种情况都不能形成电火花放电条件。为此，在加工过程中，必须靠工具电极的进给和调节装置来保证这一级电间隙，使脉冲放电能连续进行。放电间隙状况如图 4－52(a)所示，图 4－52(b)为放电后的表面。



1—阳极；2—阳极上抛出金属的区域；3—熔化的金属微粒；4—工作液；5—凝固的金属微粒；6—阴极上抛出金属的区域；7—阴极；8—气泡；9—放电通道；10—翻边凸起；11—凹坑

图 4-52　放电间隙状况示意图

2）放电的脉冲性、间歇性

脉冲宽度是指放电延续时间，一般应小于 10～3 s，使得放电所产生的热量来不及从放电点过多传导扩散到其他部位；脉冲间隔 t 是指相邻脉冲之间的间隔时间，其作用是避免持续放电使整个工件发热、表面“烧糊”形成电弧焊而无法加工。

3）绝缘的液体介质

加工中工件和电极浸泡在液体介质中，这种液体介质称为工作液。液体介质的作用是将加工后的电蚀产物（小颗粒状金属）从放电间隙中排除出去，同时也起到了冷却电极表面的作用。常用的液体介质有煤油、机油、皂化液等。

（3）电火花放电过程

一次放电过程大致可分为电离、放电、热膨胀、抛出电蚀物及消电离等几个连续的阶段。

1）电离

由于电场强度作用，两极间绝缘介质电离分解成电子和正离子。

2）放电与热膨胀

在电场力作用下，电子高速奔向阳极，正离子奔向阴极，在极短时间内（10^{-7}～10^{-5} s）介质被击穿，产生火花放电，并形成电流通道。通道电流迅速上升（其密度高达 10^5～10^8 A/cm^2），带电离子在高速运动时发生剧烈碰撞，产生大量的热，使通道温度迅速上升（高达10 000～12 000 ℃），在瞬时高温热源的作用下，工件和工具电极表面层金属会很快熔化，甚至气化，即产生电腐蚀现象。同时，通道周围的液体介质，除一部分气化外，另一部分被瞬时高温分解为游离的炭黑和 H_2，C_2H_2，C_2H_4 等气体，使工作液变黑，并冒出小气泡。由于上述过程是在非常短促的时间内完成的，因此金属的熔化和气化以及液体介质的气化都具有突然膨胀而爆炸的特性（可听到噼啪声）。

3）抛出电蚀物

在热膨胀产生的爆炸力作用下，将熔化和气化了的金属蚀物抛入周围的工作液中冷却，凝固成细小的圆球状颗粒（直径约为 0.1～500 μm）而工件表面则形成一个周围凸起的微圆形凹坑。

4）消电离

脉冲放电后，应有一间隔时间，使极间介质消电离，以便恢复两极间液体介质的绝缘强度，

准备下次脉冲击穿放电。如果放电蚀物和气泡来不及很快排除，就会改变极间介质的成分和绝缘强度，大大降低带电粒子的复合比率，破坏消电离过程，从而使脉冲放电转变为连续电弧放电，使加工无法进行。因此，在两次脉冲放电之间一般应有足够的脉冲间隔时间。其最小脉冲间隔时间的选择，不仅要考虑介质消电离的极限速度，还要考虑电蚀产物排出放电区域的时间。

（4）电火花成型加工的主要特点

1）电火花加工优点

① 脉冲放电的能量密度很高，可以加工用普通的机械加工方法难于加工或无法加工的特殊材料，复杂形状的工件。

② 加工时工具电极与工件不直接接触，两者之间的宏观作用力小，不受工具和工件刚度的限制，有利于实现微细加工。

③ 工具电极材料不需要比工件材料硬，可以用较软的如紫铜、石墨等加工工艺性较好的材料制造。

④ 操作容易，便于自动加工，只需要将电极和工件安装好后，开动机床便可实现自动控制和自动加工。

⑤ 比较容易选择和变更加工条件，电加工过程中可任意选择和变更加工条件如任意选择粗加工和精加工等。

2）电火花加工不可避免地存在的缺点

① 必须制作工具电极，电火花加工的最大问题就是电极制作问题。同别的加工方法相比，它增加了制作电极的费用和时间。

② 加工部分形成残留变质层，工件上进行电加工的部位虽然很微细，但由于要经受上万度的高温加热后急速冷却，表面受到强烈的热影响，而生成电加工表面变质层。这种变质层容易造成加工部位的碎裂与崩刃。

③ 放电间隙使加工误差增大。电极和工件之间需有一定间隙，这使得电极的尺寸形状与工件不能完全相同，产生一定的加工误差。误差的大小与间隙的大小有极大的关系。

④ 加工精度受电极损耗的影响。电极在加工过程中同样会受到电腐蚀而损耗，如果电极损耗不均匀，就会影响加工精度。电极的损耗还会造成更换与修整电极的次数增加。

尽管如此，由于电火花加工具有许多其他加工方法无可替代的优点，因而它已成为工模具制造中较先进的一种加工方法，广泛应用于航空、电子、精密机械、汽车拖拉机、仪器仪表、轻工等各个制造行业，特别是在模具制造业中已成为不可缺少的一种加工方法。

2. 电火花成型加工工艺的基本规律

电火花成型加工的主要工艺指标有加工速度、加工精度、加工表面质量和电极损耗等，影响这些工艺指标的因素构成电火花成型加工工艺的基本规律。

（1）影响加工精度的主要因素

影响电火花加工精度的工艺因素主要有机床本身的制造精度、工件的装夹精度、电极的制造及装夹精度、电极损耗、放电间隙、加工斜度等，这里主要讨论与电火花加工工艺有关的因素。

1）电火花放电间隙的大小及其一致性

放电间隙大小尤其对复杂形状的工件加工表面有影响，由于其棱角部位电场强度分布不

均造成的。间隙越大，加工精度影响越严重。因此为了减少加工误差，应该采用较弱小的加工电规准（电火花加工时，一组脉冲电源参数如脉冲宽度、峰值电流、击穿电压等），缩小放电间隙。

在电火花加工时，工具电极与工件之间存在着一定的放电间隙。放电间隙受单个脉冲能量、工作电压和工作介质的介电强度、工件材料的热学性能、热膨胀和冷收缩以及机械振动等因素的影响而变化，不能使放电间隙保持恒定不变。

2）工具电极在加工中的损耗大小

电火花加工时是将电极的形状和尺寸复制到工件上的，工具电极的损耗对工件尺寸精度和形状精度都有很大的影响。电火花穿孔加工时，电极可以贯穿型孔而补偿电极的损耗，型腔加工时则无法采用这一方法，精密型腔加工时可采用更换电极的方法来提高加工精度。

3）二次放电

二次放电是指已加工表面上由于电蚀产物等的介入而引起再次非正常的火花放电，集中反映在加工深度方向产生斜度和加工棱角棱边变钝等方面。

（2）影响表面质量的主要因素

影响表面质量的因素主要包括表面粗糙度、表面变质层和表面力学性能3部分。

1）表面粗糙度

影响的表面粗糙度主要因素有单个脉冲能量、充放电时间和峰值电流、加工速度、工件材料的性能及工具电极表面粗糙度等等。其中影响最大的是单个脉冲能量，因为脉冲能量大，每次脉冲放电的蚀除量也大，放电的凹坑会既大又深，从而使工件表面粗糙度恶化。

2）表面变质层

在火花放电的瞬时高温和工作液的冷却作用下，工件材料的表面层会产生熔化层、热影响层和显微裂纹。

熔化层位于工件表面的最上层，它被放电时产生的瞬时高温熔化而滞留下来，受工作液快速冷却而凝固。熔化层的厚度随着脉冲能量的增大而变厚，其晶粒非常细小，有很强的抗腐蚀能力。

热影响层介于熔化层与工件基体材料之间。热影响层的金属材料并没有熔化，只是受到高温的影响，使材料的金相组织发生了变化。由于温度场分布和冷却速度的不同，对淬火钢的热影响层包括再淬火区、高温回火区和低温回火区；对未淬火钢的热影响层主要为淬火区。因此，淬火钢的热影响层厚度比未淬火钢的大。

电火花加工表面由于受到高温作用并迅速冷却而产生拉应力，往往会出现显微裂纹。脉冲能量对显微裂纹的影响是非常明显的，能量越大显微裂纹越宽，延伸也越深。脉冲能量很小时，一般不会出现裂纹。另外硬脆材料容易产生裂纹。加工淬火材料要比加工淬火后回火或退火的材料容易产生裂纹，因为淬火材料的原始内应力较大。

3）表面力学性能

① 显微硬度及耐磨性　一般来说，电火花加工表面最外层的硬度比较高，耐磨性较好，在电火花线切割加工过程中，加工区有可能暴露在空气中，使含碳量较高的钢有可能产生表面脱碳现象，造成工件表面熔化层的硬度大大降低。

② 残余应力　电火花加工表面存在着由于热作用而形成的残余应力，而且大部分表现为拉应力。残余应力的大小和分布，主要和材料在加工前的热处理状态以及加工时的脉冲能量

有关。因此，对表面层要求质量较高的工件，应尽量避免使用较大的电规准，使残余应力降低到最少的程度。

③ 耐疲劳性能　电火花加工表面存在着较大的残余拉应力，还可能存在显微裂纹，因此其疲劳性能低。采用回火处理、喷丸处理等，有助于降低残余应力，或使残余拉应力转变为压应力，从而提高工件加工表面的耐疲劳性能。

(3) 电极损耗

在电火花成型加工过程中，电极是十分重要的部件，对其工艺影响很大。电极和工件一样会受到电腐蚀而损耗。电极的损耗是影响加工精度的一个重要因素。熟悉电极损耗规律，从各方面采取措施尽量减少电极损耗：

1) 选择耐腐蚀性强、损耗小的电极材料

电极的损耗受电极材料的热物理常数的综合影响。电极材料的熔点、沸点、比热容、熔化热、汽化热愈高，电极耐腐蚀的性能愈高，损耗愈小；电极材料的热导率越大，能将瞬时热量传导散失到其他部分，损耗愈小。

2) 正确选择加工极性

一般情况下，在短脉冲精加工时采用正极性加工，而在长脉冲粗加工时则采用负极加工。

3) 利用吸附效应

采用含碳氢化合物的工件液时，在放电过程中将分解形成带负电荷的碳胶粒。电场力使碳胶粒吸附在正极表面，在一定条件下可形成一定厚度的化学吸附层，称为炭黑膜。若采用负极性加工(电极接正极)，炭黑膜会吸附在电极上，对电极有保护和补偿作用，可实现电极低损耗加工。

此外，电极损耗还受脉冲电源的电参数、加工面积等因素的综合影响。在电火花加工时还需正确选择电规准，改善工艺条件。

(4) 电火花加工的生产率

在电火花加工时，正极和负极(工具和工件)同时遭到不同程度的电蚀。电火花成形加工速度(生产率)是指单位时间内工件被蚀除的体积或重量，一般用体积表示，即在时间 t 内，工件被蚀除的体积为 V_Q，则加工速度 v_w 可表示为

$$v_w = \frac{V_Q}{t}$$

工具电极的损耗速度是指单位时间内工具电极被蚀除的体积或重量，也常用体积表示，即在时间 t 内，工具电极被蚀除的体积为 V_C，则电极的损耗速度 v_E 可表示为

$$v_E = \frac{V_C}{t}$$

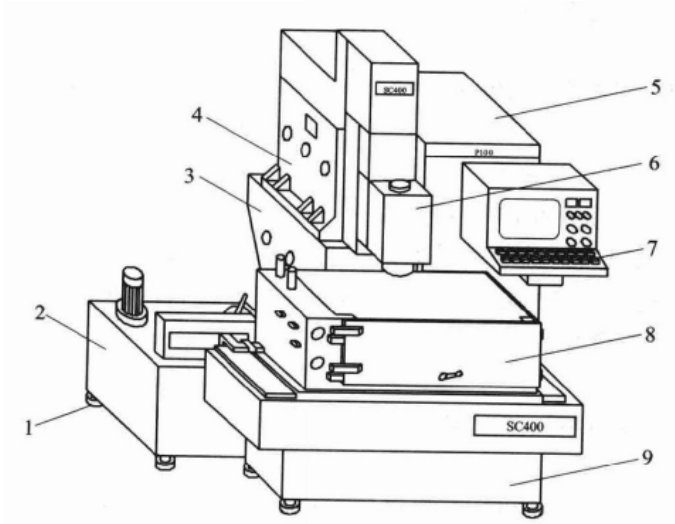
在生产中用来衡量工具电极损耗，不只是看工具电极损耗速度 v_E，还要看同时能达到的加工速度 v_w。因此，经常采用相对损耗(或损耗比)θ 作为衡量工具电极耐损耗的指标，即工具电极的损耗速度与工件加工速度的百分比，用公式表示为

$$\theta = \frac{v_E}{v_w} \times 100\%$$

3. 电火花成型加工机床

电火花成型加工机床可分为普通电火花成型加工机床和数控电火花成型加工机床。与普通电火花加工机床相比，数控电火花加工机床的加工精度、加工自动化程度、加工工艺的适应

性、多样性大为提高，在生产中得到广泛应用。数控电火花成型加工机床主要由脉冲电源、机床本体和机床电气系统、自动进给调节系统、数控系统、工作液循环过滤系统及工具电极等部分组成。图 4－53 所示为 SC400 型数控电火花成型加工机床的外观，图 4－54 所示为数控电火花成型加工机床组成示意图。



1—机床垫铁；2—油箱；3—底座；4—滑枕；5—数控电源柜；6—主轴箱；7—控制台；8—工作液槽；9—床身

图 4－53　SC400 型数控电火花成型加工机床

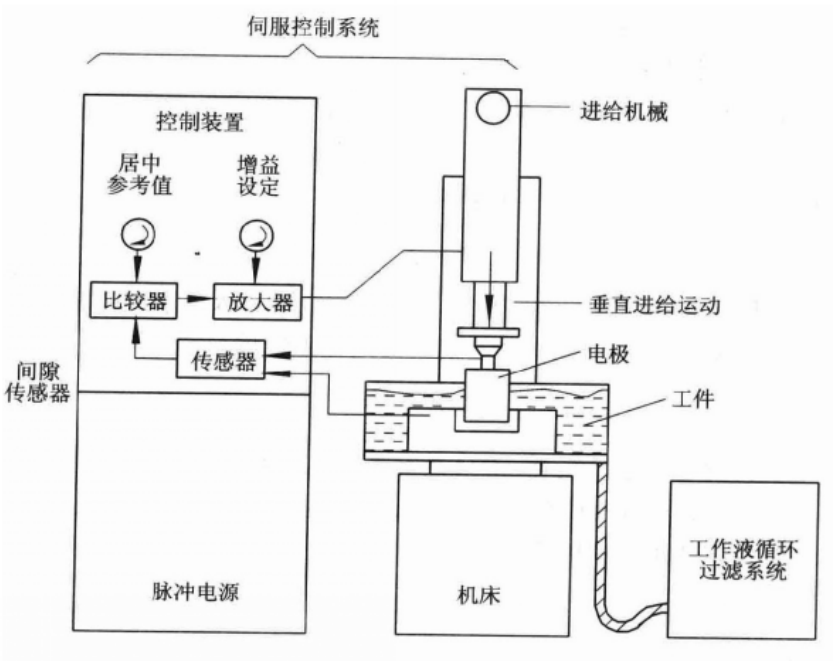


图 4－54　数控电火花成型加工机床的组成

(1) 脉冲电源

脉冲电源的作用是将工频交流电源转变为一定频率的单向脉冲电流，提供电火花成型加工所需要的能量。它的性能直接影响电火花成型加工的生产效率、加工稳定性、电极损耗、加工精度和表面粗糙度。

对脉冲电源的要求是：要有足够的脉冲放电电能量，保持一定的生产效率；脉冲波形基本上是单向脉冲；脉冲电源的主要参数应该有较宽的调节范围，以满足粗、半精、精加工；工具电极的损耗小，粗规准相对损耗小于 0.5%，中、精规准应该更小；性能稳定可靠，结构简单，操作和维修方便。

(2) 机床本体

机床本体的作用是保证工具电极与工件之间的相互位置尺寸要求。主要包括床身、立柱、主轴头和工作台。

床身和立柱是机床的基础结构，其刚度以及床身工作台面和立柱导轨间的垂直度和耐磨性对电火花成型加工有直接影响。

工作台是用来支撑和安装工件的，工件液槽装在工作台上，工作台可作纵向和横向进给，分别由直流或交流伺服电动机，经滚珠丝杠驱动。运动轨迹是靠数控系统通过数控程序控制实现的。

主轴头是机床的关键部位，控制工件与工具电极之间的间隙。要求结构简单，传动链短，传动间隙小，有一定的轴向、侧向刚度和精度，有足够的进给和回升速度，主轴运动的直线性和防扭性好，灵敏度高，无爬行现象，有足够的负载电极重量能力。

(3) 自动调节进给系统

自动调节进给系统的作用是在电火花加工时，工件与电极之间发生火花放电时要保持一定的放电间隙。放电间隙随粗、精加工所选用的电参数的不同而有所变化，以满足不同加工的需要。而且电火花加工是个动态过程，工件和电极都有一定的损耗，使得放电间隙逐渐增大，当间隙大到不足以维持放电时，加工便停止。为了使加工能继续进行，电极必须不断地、及时地进给，以保持最佳间隙。现在使用较多的是电液自动调节系统和电动机自动调节系统。

(4) 工作液循环过滤系统

工作液循环过滤系统主要由工作液、工作液箱、液压泵、电机、过滤器、工作液分配器、阀门、油杯等组成，其作用是强迫一定压力的工作液流经放电间隙，将电蚀产物排出，并且对使用过的工作液进行过滤和净化。

工作液循环过滤系统的工作方式有冲油式和抽油式两种。冲油式的特点是排屑效果好，但是电蚀产物从已加工面流出易造成二次放电，使型面四壁形成斜度，影响加工精度。抽油式的特点是从待加工表面，将已使用过的工作液连同电蚀产物一起抽出，抽油压力略大于冲油式油压。可获得较高精度和较好的表面质量，但是排屑能力不如冲油式。

工作液是有较高绝缘强度的液体介质，其作用是形成电火花击穿放电通道，并在放电结束后迅速恢复间隙的绝缘状态；对放电通道起到压缩作用，使放电能量集中；在强迫流动过程中，将电蚀产物从放电间隙中带出；在加工过程中对电极和工件表面起到冷却作用。

(5) 附件

1) 电极垂直调整装置

在电火花型孔加工时，装夹电极和调整电极垂直度的装置，通过它将电极与主轴头相

连接。

2）平动头

在电火花型腔成形加工时，通过平动头使工具电极在水平面内做圆周平移运动，运动半径根据加工需要可以调节，以补偿电极横向损耗，满足粗、精加工的需要，以及放电间隙误差引起的工件尺寸误差，修正并达到修光型腔侧面的目的。主要由伺服电机、旋转运动幅、平面圆周移动机构、双偏心机构和电极夹紧装置组成。整个装置通过壳体用螺钉紧固在主轴头上。

4. 电火花成型加工实例

电机转子冲孔落料模的电火花成型加工。工件尺寸要求如图 4－55(a)所示，工件材料：淬火 40Cr，凸凹模配合间隙：0.04～0.07 mm。工具电极(即冲头)材料：淬火 Cr12，尺寸要求如图 4－55(b)所示。

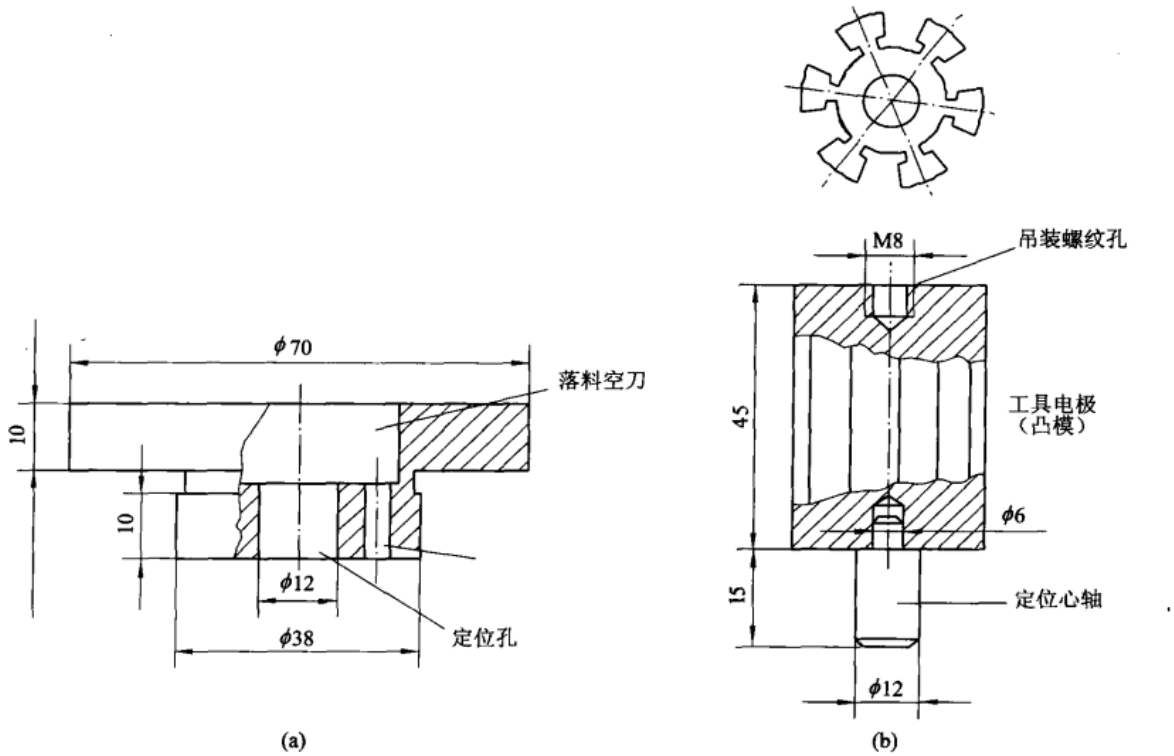


图 4－55　冲孔落料模的电火花加工

(1) 工具电极在电火花成型加工前的加工工艺路线

① 准备定位心轴

车削：心轴 φ6 和 φ12 外圆，其外圆直径留 0.2 磨量，钻中心孔。

磨削：精磨 φ6 和 φ12 外圆。

② 车削：粗车冲头外形，精车上段吊装内螺纹，φ6 孔留磨量。

③ 热处理：淬火处理。

④ 磨削：精磨 φ6 定位心轴孔。

⑤ 线切割：以定位心轴 φ12 外圆面为定位基准，精加工冲头外形，达图纸要求。

⑥ 钳工安装：安装固定连接杆(连接杆用于与机床主轴头连接)。

⑦ 化学腐蚀(酸洗)：配置腐蚀液，均匀腐蚀，单面腐蚀量 0.14 mm，腐蚀高度 20 mm。

⑧ 钳工安装：利用凸模上 ϕ6 孔安装固定定位心轴。

(2) 工艺方法

凸模打凹模的阶梯工具电极加工法，反打正用。

(3) 使用设备

SC400 型数控电火花成型加工机床和 P100D 型数控脉冲电源柜。

(4) 装夹、校正、固定

① 工具电极：以定位心轴作为基准，校正后予以固定。

② 工件：将工件自由放置在工作台上，将校正并固定后的电极定位心轴插入对应的 ϕ12 孔(注意不能受力)，然后旋转工件，使预加工刃口孔对准冲头(电极)，最后予以固定。

(5) 加工规准

如表 4－11 所示。

表 4－11　电机转子冲孔落料模加工规准

工序	脉宽 /μs	间隔 /μs	放电峰值电流/A	脉冲电压 /V	加工电流 /A	加工深度	加工极性	工作液循环方式
粗加工	20	50	24	173	7～8	穿透	负	下冲油
精加工	2	20～50	24	80	3～4	穿透	负	下冲油

(6) 加工效果

① 配合间隙：0.06 mm。

② 斜度：0.03 mm(单面)。

③ 加工表面粗糙度 R_a：1.0～1.25 μm。

4.2.5　模具成型零件的电火花线切割加工

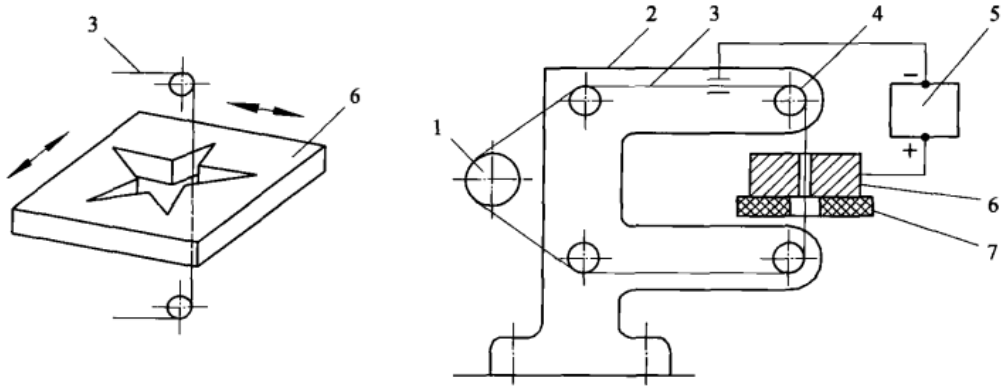
电火花成型加工模具，需要成型电极，当被加工的模具零件精密细小、形状复杂时，不仅电极的制作难度大，而且加工效率低，尤其是穿孔加工。电火花线切割加工能弥补电火花成型加工的不足，不用成型电极就能实现精细加工，而且比电火花成型加工操作更方便、效率更高。

1. 电火花线切割工作原理和特点

(1) 电火花线切割工作原理

电火花线切割加工也是通过电极和工件之间脉冲放电时的电腐蚀作用，采用金属导线作为工具电极切割工件，对工件进行加工的一种电火花加工方法。工件接脉冲电源的正极，电极丝接负极，工件相对电极丝按预定的要求运动，从而使电极丝沿着所要求的切割线路进行电腐蚀，实现切割加工。

数控电火花线切割加工的原理如图 4－56 所示。工件 6 接脉冲电源的正极，电极丝 3(钼丝或铜丝)接负极，由脉冲电源 5 供给加工能量后，在工件与电极丝之间产生很强的脉冲电场，使其间的介质被电离击穿，产生脉冲放电而蚀除材料。在机床数控系统的控制下，工作台带着工件在 XY 平面内按预定的轨迹运动，从而切割出需要的工件形状。电极丝在储丝筒 1 的作用下进行正反向交替(或单向)移动，在电极丝和工件之间浇注工作液介质。



1—储丝筒；2—支架；3—电极丝(钼丝或钢丝)；4—导向轮；5—脉冲电源；6—工件；7—绝缘底板

图 4－56　数控电火花线切割加工示意图

(2) 线切割加工的特点

① 不需要制作电极，可降低成本，缩短生产周期。

② 能方便地加工出形状复杂、细小的通孔和外表面。

③ 电极损耗极小(一般可忽略不计)，有利于加工精度的提高。

④ 采用四轴联动，可加工锥度和上、下面异形体等零件。

(3) 线切割加工的应用

线切割加工广泛用于加工淬火钢、硬质合金模具零件，如凸模(型芯)固定板、凹模型孔等；可加工各种形状的细小零件、窄缝等；此外，还可用于样板、电火花成型加工电极的加工等。

2. 数控电火花线切割加工工艺

电火花线切割加工，一般是作为工件加工中的最后工序。要达到加工零件的精度及表面粗糙度要求，应合理控制线切割加工时的各种工艺参数(电参数、切割速度、工件装夹等)，同时应安排好零件的工艺路线及线切割加工前的准备工作。有关模具加工的线切割加工工艺准备和工艺过程，如图 4－57 所示

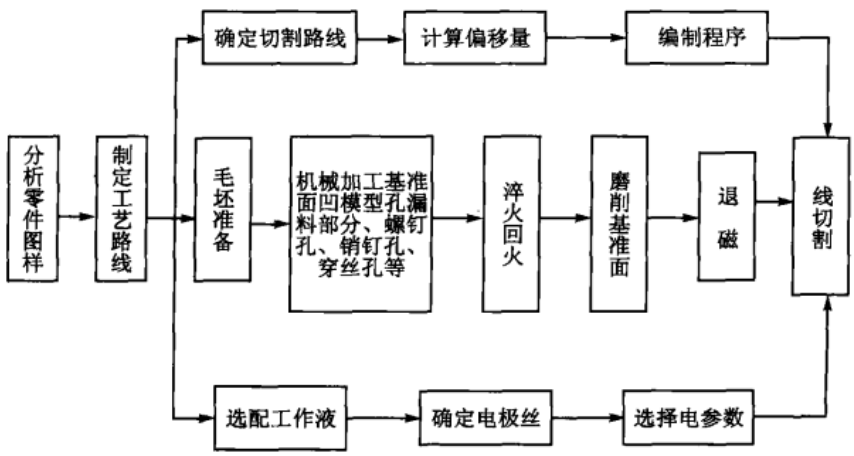


图 4－57　线切割加工的工艺准备和工艺过程

(1) 毛坯准备

模具成型零件一般采用锻造毛坯，其线切割加工常在淬火与回火后进行。由于受材料淬透性的影响，当大面积去除金属和切断加工时，会使材料内部残余应力的相对平衡状态遭到破坏而产生变形，影响加工精度，甚至在切割过程中造成材料突然开裂。为减少这种影响，除在设计时选用锻造性能好、淬透性好、热处理变形小的合金工具钢(如 Cr12，Cr12MoV，CrWMn)作模具材料外，对模具毛坯锻造及热处理工艺也应正确进行。

1) 凹模的准备工序

① 下料　用锯床切断所需材料。

② 锻造　改善内部组织，并锻成所需的形状。

③ 退火　消除锻造内应力，改善加工性能。

④ 刨(铣)　刨六面，并留磨削余量 0.4～0.6 mm。

⑤ 磨　磨出上下平面及相邻两侧面，对角尺。

⑥ 划线　划出刃口轮廓线和孔(螺孔、销孔、穿丝孔等)的位置。

⑦ 加工型孔部分　当凹模较大时，为减少线切割加工量，需将型孔漏料部分铣(车)出，只切割刃口高度；对淬透性差的材料，可将型孔的部分材料去除，留 3～5 mm 切割余量。

⑧ 孔加工　加工螺孔、销孔、穿丝孔等。

⑨ 淬火　达到设计要求。

⑩ 磨　磨削上下平面及相邻两侧面，对角尺。

⑪ 退磁处理。

2) 凸模的准备工序

凸模的准备工序，可根据凸模的结构特点，参照凹模的准备工序，将其中不需要的工序去掉即可。但应注意以下几点：

① 为便于加工和装夹，一般都将毛坯锻造成平面六面体。对尺寸、形状相同，断面尺寸较小的凸模，可将几个凸模制成一个毛坯。

② 凸模的切割轮廓线与毛坯侧面之间应留足够的切割余量(一般小于 5 mm)。毛坯上还要留出装夹部位。

③ 在有些情况下，为防止切割时模坯产生变形，在模坯上加工出穿丝孔。切割的引入程序从穿丝孔开始。

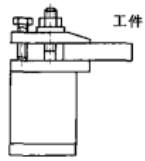
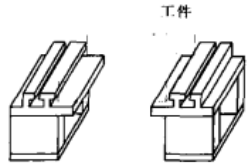
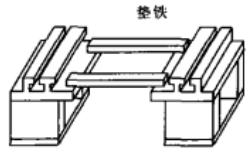
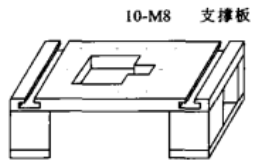
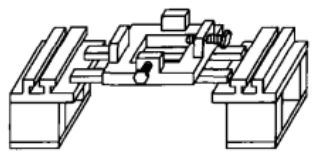
(2) 工件的装夹与调整

1) 工件的装夹

工件装夹方式主要有悬臂支撑式、两端支撑式、桥式支撑式和复式支撑式等，各种装夹方式的特点及应用如表 4－12 所示。

装夹工件时，必须保证工件的切割部位位于机床工作台纵向、横向进给的允许范围之内，避免超出极限。同时应考虑切割时电极丝运动空间。夹具应尽可能选择通用(或标准)件，所选夹具应便于装夹，便于协调工件和机床的尺寸关系。在加工大型模具时，要特别注意工件的定位方式，尤其在加工快结束时，工件的变形、重力的作用会使电极丝被夹紧，影响加工。

表 4-12　常用工件装夹方式的特点及应用

装夹方式	示意图	特点及应用
悬臂支撑		通用性强，装夹方便，但装夹误差较大，用于工件加工要求不高或悬臂较短的情况
两端支撑		装夹方便、稳定、定位精度高，但不适用于装夹较小的零件
桥式支撑		这种支撑装夹方式是在双端夹具体下垫上 2 个支撑垫铁，通用性强，装夹方便，对大、中、小工件装夹都较方便
板式支撑		根据常用的工件形状和尺寸采用有通孔的支撑板装夹工件，精度高，但通用性差
复式支撑		它是在桥式夹具上装上专用夹具组合而成，装夹方便，适用于成批零件加工

2）工件的调整

采用以上方式装夹工件，还必须配合找正法进行调整，以使工件的定位基准面分别与机床的工作台面和工作台的进给方向 X，Y 保持平行，以保证所切割的表面与基准面之间的相对位置精度。常用的找正方法有：

① 百分表找正法

如图 4－58 所示，用磁力表架将百分表固定在丝架或其他位置上，百分表的测量头与工件基面接触，往复移动工作台，按百分表指示值调整工件的位置，直至百分表指针的偏摆范围达到所要求的数值。找正应在相互垂直的 3 个方向上进行。

② 划线找正法

工件的切割图形与定位基准之间的相互位置精度要求不高时，可以采用划线法找正，如图 4－59所示。利用固定在丝架上的划针对准工件上划出的基准线，往复移动工作台，目测划针与基准间的偏离情况，将工件调整到正确位置。

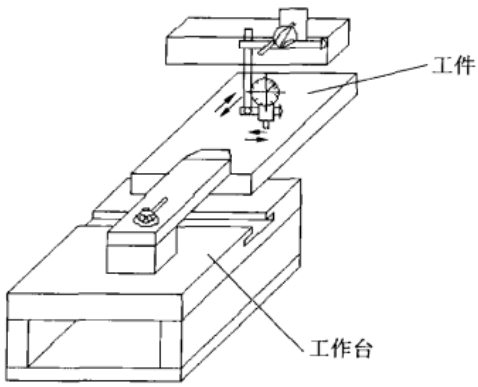


图 4－58　百分表找正

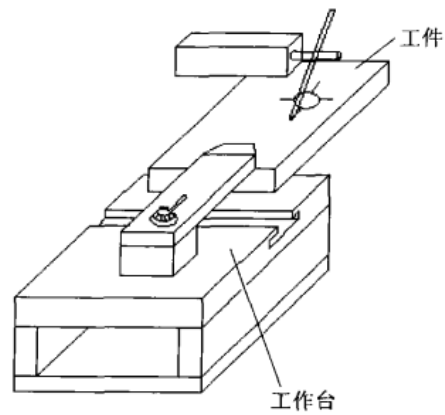


图 4－59　划线法找正

(3) 电极丝的选择和调整

1) 电极丝的选择

电极丝应具有良好的导电性和抗电蚀性、抗拉强度高、材质均匀。常用电极丝有钼丝、钨丝、黄铜丝和包芯丝等。钨丝抗拉强度高，直径在 0.03～0.1 mm 范围内，一般用于各种窄缝的精加工，但价格昂贵。黄铜丝适合于慢速加工，加工表面粗糙度和平直度较好，蚀屑附着少，但抗拉强度差，损耗大，直径在 0.1～0.3 mm 范围内，一般用于慢速单向走丝加工。钼丝抗拉强度高，适于快速走丝加工，所以我国快速走丝机床大都选用钼丝作电极丝，直径在 0.08～0.2 mm范围内。电极丝直径的选择应根据切缝宽窄、工件厚度和拐角尺寸大小来选择。若加工带尖角、窄缝的小型模具宜选用较细的电极丝；若加工大厚度工件或大电流切割时应选较粗的电极丝。

2) 穿丝孔和电极丝切入位置的选择

穿丝孔是电极丝相对工件运动的起点，同时也是程序执行的起点，一般选在工件上的基准点处。为缩短开始切割时的切入长度，穿丝孔也可选在距离型孔边缘 2～5 mm 处，加工凸模时，为减小变形，电极丝切割时的运动轨迹与边缘的距离应大于 5 mm。

3) 电极丝位置的调整

线切割加工之前，应将电极丝调整到切割的起始坐标位置上，其调整方法有以下几种：

① 目测法

对于加工精度要求较低的工件，在确定电极丝与工件基准间的相对位置时，可以直接利用目测或借助 2～8 倍的放大镜来进行观察。图 4－60 是利用穿丝处划出的十字基准线，分别沿划线方向观察电极丝与基准线的相对位置，根据两者的偏离情况移动工作台，当电极丝中心分

别与纵横方向基准线重合时，工作台纵、横方向上的读数就确定了电极丝中心的位置。

② 火花法

如图 4－61 所示，移动工作台使工件的基准面逐渐靠近电极丝，在出现火花的瞬时，记下工作台的相应坐标值，再根据放电间隙推算电极丝中心的坐标。此法简单易行，但往往因电极丝靠近基准面时产生的放电间隙，与正常切割条件下的放电间隙不完全相同而产生误差。

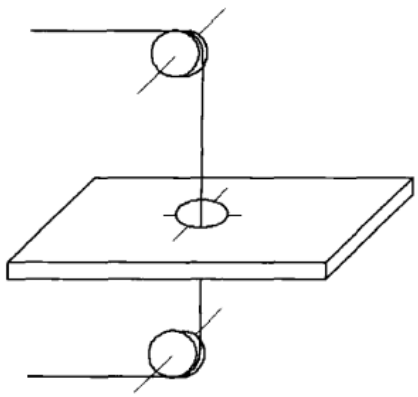


图 4－60　目测法调整电极丝位置

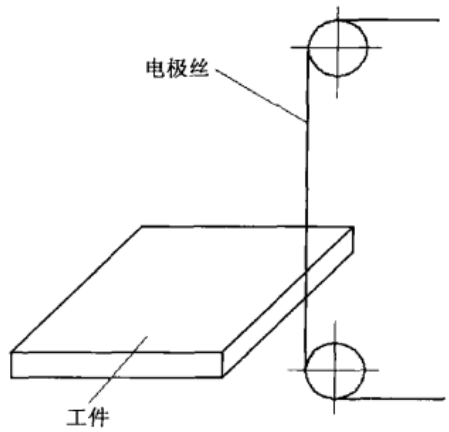


图 4－61　火花法调整电极丝位置

③ 自动找中心

所谓自动找中心，就是让电极丝在工件孔的中心自动定位。此法是根据线电极与工件的短路信号，来确定电极丝的中心位置。数控功能较强的线切割机床常用这种方法。如图 4－62 所示，首先让线电极在 X 轴方向移动至与孔壁接触(使用半程移动指令 $G82$)，则此时当前点 X 坐标为 X_1，接着线电极往反方向移动与孔壁接触，此时当前点 X 坐标为 X_2，然后系统自

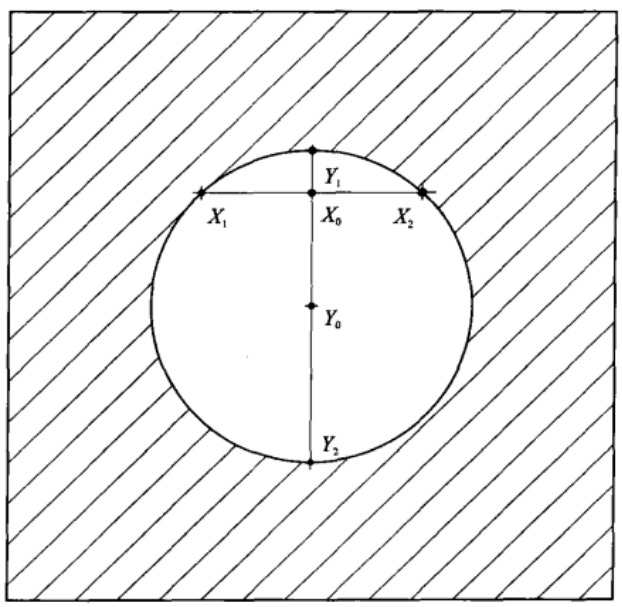


图 4－62　自动找中心

动计算 X 方向中点坐标 $X_0[X_0=(X_1+X_2)/2]$，并使线电极到达 X 方向中点 X_0；接着在 Y 轴方向进行上述过程，线电极到达 Y 方向中点坐标 $Y_0[Y_0=(Y_1+Y_2)/2]$。这样经过几次重复就可找到孔的中心位置。当精度达到所要求的允许值之后，就确定了孔的中心。

3. 电火花线切割工艺参数的选择

(1) 脉冲参数的选择

线切割加工一般都采用晶体管高频脉冲电源，用单个脉冲能量小、脉宽窄、频率高的脉冲参数进行正极性加工。加工时，可改变的脉冲参数主要有电流峰值、脉冲宽度、脉冲间隔、空载电压、放电电流。要求获得较好的表面粗糙度时，所选用的电参数要小；若要求获得较高的切割速度，脉冲参数要选大一些，但加工电流的增大受排屑条件及电极丝截面积的限制，过大的电流易引起断丝，快速走丝线切割加工脉冲参数的选择见表 4－13。

表 4－13　快速走丝线切割加工脉冲参数的选择

应　用	脉冲宽度 t_i/μs	电流峰值 I_e/A	脉冲间隔 t_0/μs	空载电压/V
快速切割或加大厚度工件 R_a >2.5 μm	20～40	大于 12	为实现稳定加工，一般选择 $t_0/t_i=3$～4	一般为 70～90
半精加工 $R_a=1.25$～2.5 μm	6～20	6～12		
精加工 $R_a<1.25$ μm	2～6	4.8 以下		

(2) 工艺尺寸的确定

线切割加工时，为了获得所要求的加工尺寸，电极丝和加工图形之间必须保持一定的距离，如图 4－63 所示。图中双点划线表示电极丝中心的轨迹，实线表示型孔或凸模轮廓。编程时首先要求出电极丝中心轨迹与加工图形之间的垂直距离 ΔR(间隙补偿距离)，并将电极丝中心轨迹分割成单一的直线或圆弧段，求出各线段的交点坐标后，逐步进行编程。具体步骤如下：

1) 设置加工坐标系

根据工件的装夹情况和切割方向，确定加工坐标系。为简化计算，应尽量选取图形的对称轴线为坐标轴。

2) 补偿计算

按选定的电极丝半径 r，放电间隙 δ 和凸、凹模的单面配合间隙 $Z/2$，则加工凹模的补偿距离 $\Delta R_1=r+\delta$，如图 4－63(a)所示；加工凸模的补偿距离 $\Delta R_2=r+\delta-Z/2$，如图 4－63(b)所示。

3) 将电极丝中心轨迹分割成平滑的直线和单一的圆弧线，按型孔或凸模的平均尺寸计算出各线段交点的坐标值。

(3) 工作液的选配

工作液对切割速度、表面粗糙度、加工精度等都有较大影响，加工时必须正确选配。常用的工作液主要有乳化液和去离子水。

① 慢速走丝线切割加工，目前普遍使用去离子水。为了提高切割速度，在加工时还要加进有利于提高切割速度的导电液，以增加工作液的电阻率。加工淬火钢，使电阻率在 2×104 Ω·cm 左右；加工硬质合金电阻率在 30×104 Ω·cm 左右。

② 对于快速走丝线切割加工，目前最常用的是乳化液。乳化液是由乳化油和工作介质配

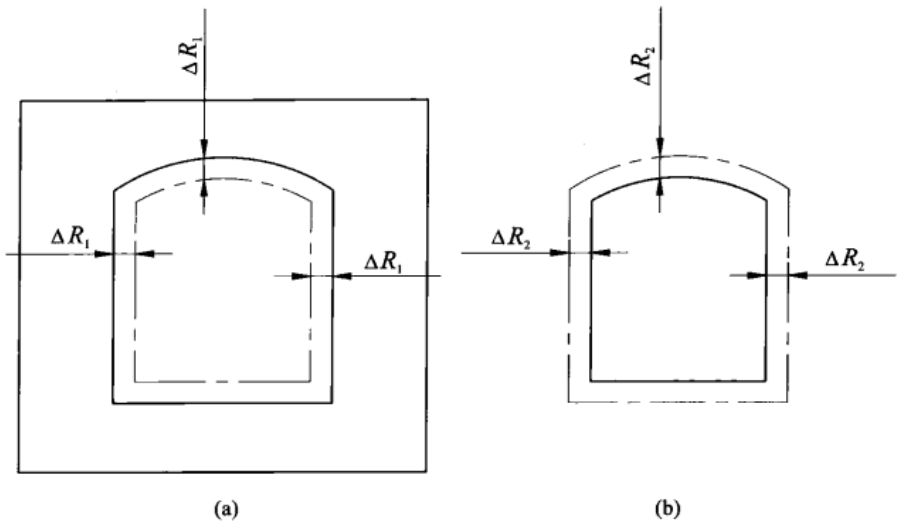


图 4-63　电极丝中心轨迹

制(浓度为 5%～10%)而成的。工作介质可用自来水,也可用蒸馏水、高纯水和磁化水。

4. 数控电火花线切割加工程序编制

(1) 常用代码格式

数控线切割加工的编程有符合国际标准的 ISO 格式和 3B,4B,R3B 代码格式,目前较常用的是 3B, 4B 和 R3B 代码格式。

1) 3B 代码格式程序

3B 程序格式是我国电火花线切割机床的一种常用编程格式,其程序格式为:

BX　BY　BJ　GZ

各符号含义如表 4-14 所示。

表 4-14　3B 程序格式中各符号的含义

符　号	含　义
B	分隔符,表示一条程序开始,并且将 X,Y,J 数据区分隔开;B 后数字为 0 时,则此 0 可省略
X,Y	增量(相对)坐标值,一律用 μm 作单位,当 X,Y 为 0 时,X,Y 值可不写,但分隔符 B 须保留
J	计数长度即 X 轴或 Y 轴上的加工线段
G	计数方向,即加工线段上计数方向
Z	加工指令,即加工方向
MJ	停机符,表示程序结束

2) 4B 代码格式程序

4B 格式是在 3B 基础上发展起来的,它带有间隙自动补偿功能,其程序格式为:

BX　BY　BJ　BR　G(D 或 DD)Z

各符号含义如表 4-15 所示。

表 4－15　4B 程序格式中各符号的含义

符　号	含　义
B	为分隔符，表示一条程序开始，并且将 X，Y，J，R 数据区分隔开
X，Y	坐标数值，一律用 μm 作单位
J	计数长度，在 X 轴或 Y 轴上投影长度的总和
R	圆弧半径或公切圆半径
G	计数方向，计 X 轴或计 Y 轴
D 或 DD	为曲线形式，它决定补偿的方向，D 为凸圆弧，DD 为凹圆弧
Z	加工指令即加工方向
MJ	表示程序结束

3）R3B 代码格式程序

程序格式如下：

IR　BX　BY　BJ　GZ

各符号含义如表 4－16 所示。

表 4－16　R3B 程序格式中各符号的含义

符　号	含　义
IR	R 表示圆弧半径或公切圆半径；I 表示曲线形式，它决定补偿的方向；“＋”表示为凸圆弧，“－”表示为凹圆弧
B	为间隔符，它的作用是将 X，Y，J 数码区分开
X，Y	表示坐标数值，单位为 μm
J	表示加工线段计数长度
G	表示加工线段计数方向
Z	表示加工指令
MJ	表示程序结束

（2）程序编写方法

程序编号首先要确定坐标系与坐标值，要确定计数方向和计数长度，再确定加工指令及各种补偿处理等，具体规则如下。

1）坐标系与坐标值的确定

平面坐标系是这样规定的：面对机床操作台，工作台平面为坐标系平面，左右方向为 X 轴，并且右方向为正即 $+X$；前后方向为 Y 轴，前方向为正即 $+Y$。编程时，采用相对坐标系即坐标系的原点随程序段的不同而变化。加工直线时，以该直线的起点为坐标系的原点，X，Y 取该直线终点的坐标值；加工圆弧时，以该圆弧的圆心为坐标系的原点，X，Y 取该圆弧起点的坐标值，单位为 μm，坐标值的负号不写。

2）计数方向 G 的确定

不论是加工直线，还是加工圆弧，其计数方向均按照终点的位置来确定。加工直线时，终点靠近何轴，则计数方向取该轴。加工与坐标轴成 45°角的线段时，计数方向取 X 轴、Y 轴均可，记

作 GX 或 GY，如图 4－64(a)所示。加工圆弧时，终点靠近何轴，则计数方向取另一轴。加工圆弧的终点与坐标轴成 45°角时，计数方向取 X 轴、Y 轴均可，记作 GX 或 GY，如图 4－64(b)所示。

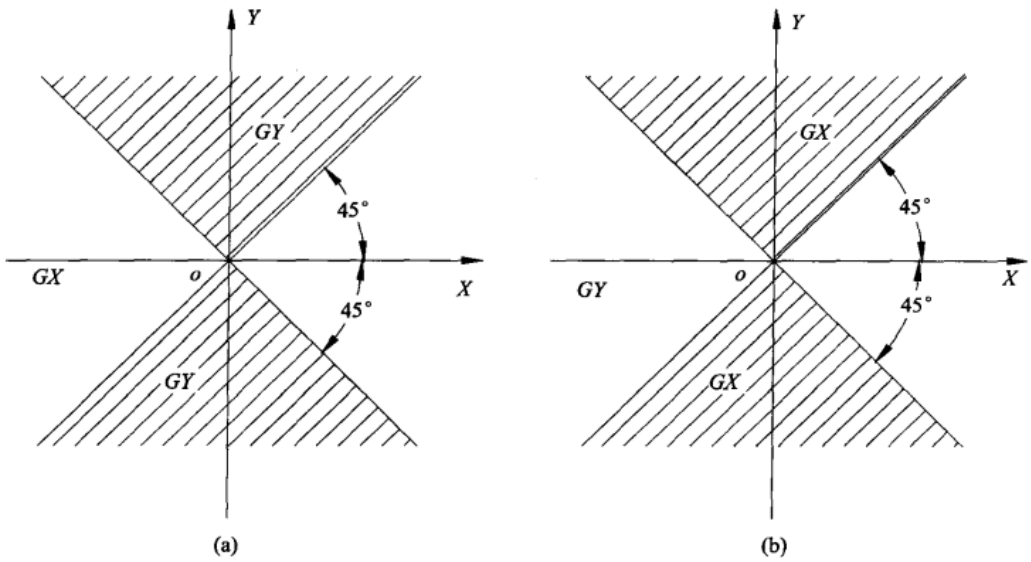


图 4－64　计数方向的确定

3）计数长度 J 的确定

计数长度是在计数方向基础上确定的。计数长度是被加工的直线或圆弧在计数方向坐标轴上投影的绝对值的总和，也就是在 X 轴或 Y 轴上投影长度的总和，其单位 μm。

图 4－65 是加工直线时计数长度的确定。图中加工直线 OA 时，计数方向为 X 轴，计数长度为 OB，数值等于 A 点的 X 坐标值。加工直线 OC 时，计数方向为 Y 轴，计数长度为 OD，数值等于 C 点的 X 坐标值。图 4－66 是加工圆弧时计数长度的确定。图中加工半径为 350 mm 的圆弧 EF 时，计数方向为 X 轴，计数长度为 $350\times3=1\ 050$ mm，即是圆弧 EF 中 3 段 90°圆弧在 X 轴上投影的绝对值的总和。

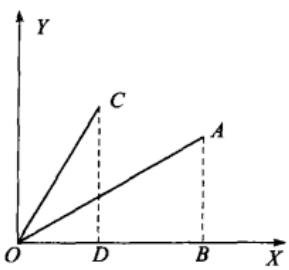


图 4－65　加工直线时计数长度的确定

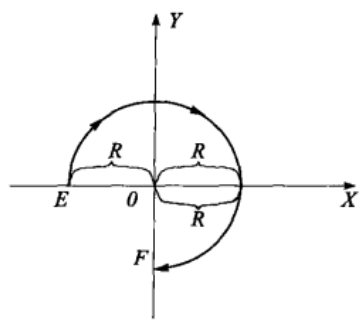


图 4－66　加工圆弧时计数长度的确定

4）加工指令 Z 的确定

加工直线有 4 种加工指令；加工圆弧时，顺时针加工有 4 种加工指令，逆时针加工有 4 种加工指令，共 12 种加工指令。具体规定如下：

加工直线的 4 种加工指令 L1，L2，L3，L4。当直线在第一象限时，包括 X 轴而不包括 Y

轴，加工指令记作 L1；当直线处于第二象限时，包括 Y 轴而不包括 X 轴，加工指令记作 L2；加工指令 L3 和 L4 依次类推。具体如图 4－67(a)所示。

顺时针加工圆弧有 4 种加工指令 SR1，SR2，SR3，SR4。当圆弧的起点在第一象限时，包括 Y 轴而不包括 X 轴，加工指令记作 SR1；当起点在第二象限时，包括 X 轴而不包括 Y 轴，加工指令记作 SR2；加工指令 SR3，SR4 依次类推。具体如图 4－67(b)所示。

逆时针加工圆弧有 4 种加工指令 NR1，NR2，NR3，NR4。当圆弧的起点在第象一限时，包括 X 轴而不包括 Y 轴，加工指令记作 NR1；当圆弧起点在第二象限，包括 Y 轴而不包括 X 轴时，加工指令记作 NR2；加工指令 NR3，NR4 依次类推。具体如图 4－67(c)所示。

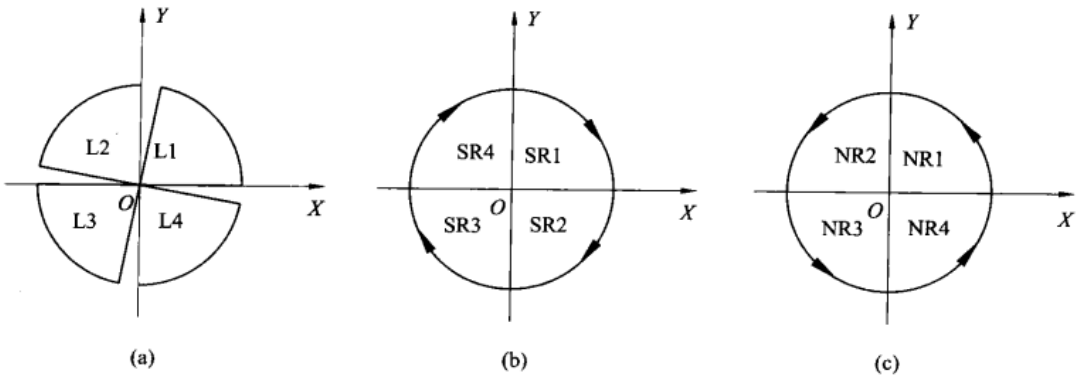


图 4－67　加工指令的确定范围

(3) 编程的一般过程

1) 工艺分析

根据相应的装夹情况和切割方向，确定相应的计算机坐标系；偏移量和坐标值计算；

2) 编制程序

根据电极线中心轨迹各交点坐标值及各线段的加工顺序，逐段编制程序；

3) 程序校验

编好的程序需校验后方可用于加工。常见的程序校验方法有画图校验和空运行等。

(4) 数控线切割加工编程实例

1) 加工简单凸模和凹模的程序编制

① 分析图样

冲件图样如图 4－68 所示，对图样首先应看清其形状、尺寸精度和表面粗糙度等内容。冲制该工件实际是一冲压的落料工序，工件材料为 Q235 钢，厚度为 2 mm，据此查手册，其单边冲裁模间隙应取 5%工件厚度，故 $\delta_{配}=0.1$ mm。该冲裁模为落料模，故冲裁模间隙应在凸模上扣除，其凹模孔形尺寸应等于工件尺寸。故实际切割出来的冲头，每边尺寸均应减小 0.1 mm。

② 编　程

现大部分线切割机床都具有间隙补偿功能，所以编程时可直接按工件图样的尺寸编程，然后利用控制器的间隙补偿功能，分别加工凸模和凹模。

因为凸模和凹模的开始切割点不同，凸模起割点穿丝孔应取在图形外边，而凹模起割点穿丝孔应设在图形的中间。目前绝大部分的线切割机床，当使用间隙补偿功能时，均需在尖角处加过渡圆，否则无法使用间隙补偿功能。过渡圆半径应大于 $r_{丝}+\delta_{电}$，此处取过渡圆半径为

0.1 mm，故该工件编程所用的图形实际如图 4－69 所示。根据该图编出 3B 程序如表 3－16 所示，该表中略去了切入和切出 2 条程序，其切割顺序为 1—2—3—4—5—6—1。

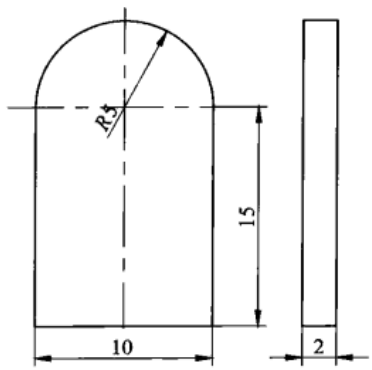


图 4－68　冲件图

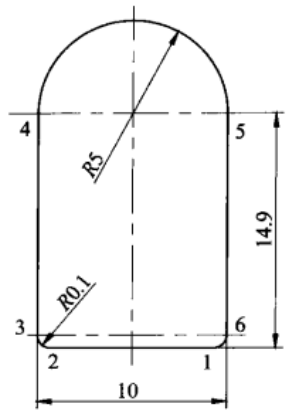


图 4－69　加过渡圆后的图形

表 4－16　程序单

顺　序	程序段	顺　序	程序段
1	BBB9800GxL3	4	B5000BB10000GySR2
2	BB100B100GySR3	5	BBB14900GyL4
3	BBB14900GyL2	6	B100BB100GxSR4

③ 输入和校验程序

程序条数比较少时，往往用手工按键输入控制器中。对于微机控制器，可以把全部程序一次输入，然后再逐条显示出来与程序单校对。在微机控制器中显示的是十进制数据，校对起来很直观，若发现错误，修改也很方便。

④ 试切样件

为了用实物校验所编图形的程序是否正确，尺寸是否符合要求，往往需用一块薄钢板来试切一个样件。切出样件经检查后，若图形或尺寸不对，首先应再检查一下控制器中的程序是否输入正确，然后再检查编程是否有错误，直至切割出的样件形状和尺寸均合乎要求，才能正式切割模具。

2）加工如图 4－70 所示燕尾槽零件时 4B 格式程序的编制。

程序如下：

进刀　B　B　B5000　B5000　GY　D　L2；

(a) B　B　B7500　B4246　GX　D　L1；

(b) B9　B15　B15000　GY　L3；

(c) B　B　B28000　B7927　GX　DD　L1；

(d) B9　B15　B15000　GY　L4；

(e) B　B　B15000　B5023　GX　D　L1；

(f) B4000　B20000　B20000　B10000　GY　D　L3；

(g) B　B　B32000　B19517　GX　D　L3;

(h) B4　B20　B20000　B10000　GY　D　L2;

(I) B　B　B7500　B6149　GX　D　L1;

(j) DD。

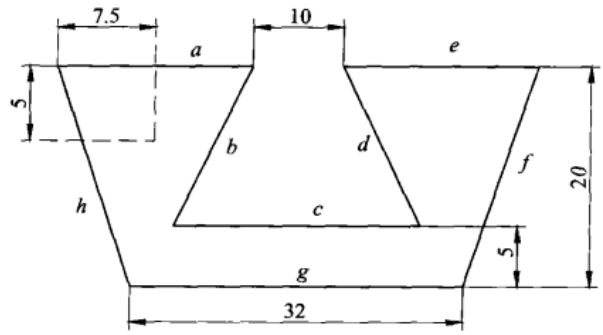


图 4-70　燕尾槽零件

4.2.6　模具的光整加工与表面处理

1. 模具的光整加工

光整加工是以降低零件表面粗糙度,提高表面形状精度和增加表面光泽为主要目的的研磨、珩磨抛光等加工。在模具制造过程中,光整加工主要是用于模具成型表面的加工,尤其是对于高精密、高寿命的模具,很多成型零件的表面都需要进行光整加工。下面介绍常见的研磨抛光方法。

(1) 手工研磨抛光

1) 砂纸抛光

手持砂纸,压在加工表面上作缓慢的运动,以去除机械加工的切削痕迹,使表面粗糙度减少,是一种常见的、最简单的抛光方法。

2) 油石抛光

主要是对型腔的平坦部位和槽的直线部分进行研磨抛光。使用时根据型腔形状、被加工表面的粗糙度、硬度来选用适当种类的磨料、粒度、形状的油石;根据抛光面大小选择适当大小的油石,以使油石能纵横交叉运动。经修整后的油石如图 4-71 所示。

3) 手持式辅助工具研磨抛光

圆盘式磨光机抛光。如图 4-72 所示,用手持对一些大型模具去除仿形加工后的走刀痕迹及倒角,抛光精度不高,其抛光程度接近粗磨。

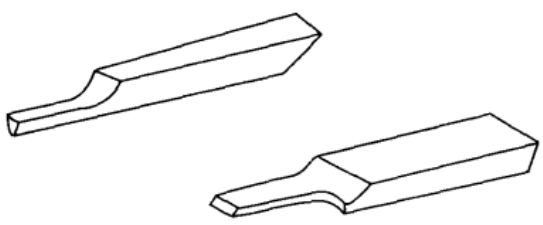


图 4-71　修整后的油石

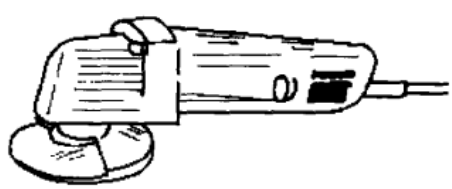
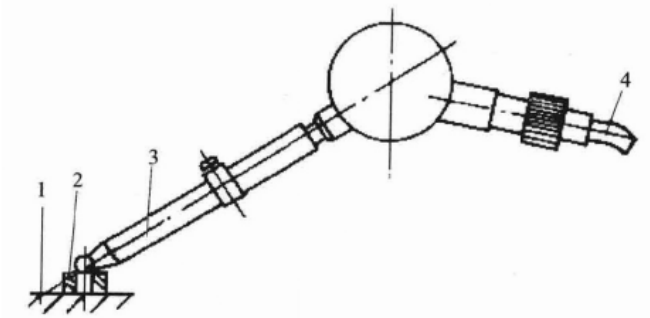


图 4-72　圆盘式磨光机

手持电动往复式研抛头研磨抛光。如图 4－73 所示，操作方便灵活，使用时手持研磨柄，动力从软轴传来带动球头杆作直线往复运动，球头杆的往复最大行程为 20 mm，往复次数为5 000 次/min。



1—工件；2—研磨环；3—球头杆；4—软轴

图 4－73　手持往复研抛头的应用

手持直杆旋转式研抛头研磨抛光。如图 4－74 所示，研磨抛光夹头高速旋转，夹头上配以各种研抛工具，可对复杂型腔表面进行研抛加工。

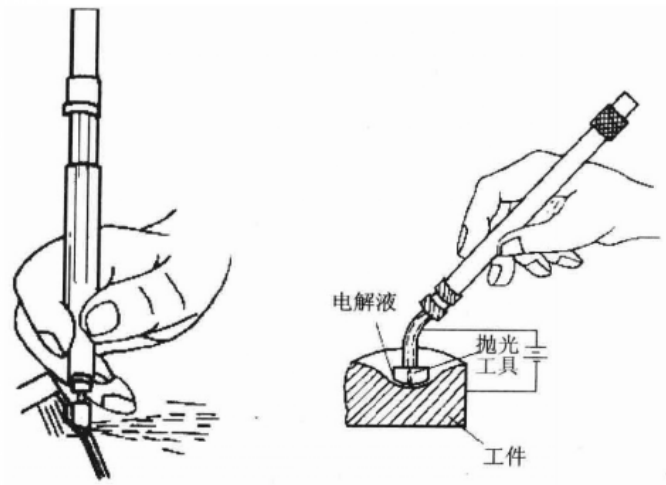
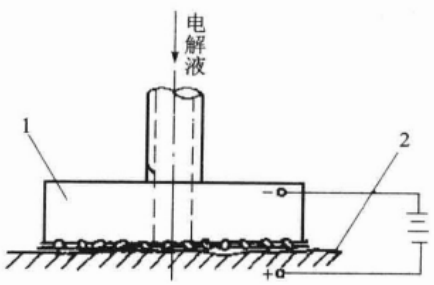


图 4－74　手持直杆式研抛头进行加工



1—工具；2—工件

图 4－75　电解修磨抛光原理图

(2) 电解修磨抛光

在被抛光工件和抛光工具之间接入直流电源，工件接直流电源的阳极，抛光工具接电源的阴极，利用通电后工件与抛光工具在电解液中发生的阳极溶解作用来进行抛光的一种工艺方法，图 4－75 所示为电解修磨抛光的工作原理图。

电解修磨抛光的特点：

① 电解修磨抛光后可使加工表面粗糙度 R_a 从 3.2～1.6 μm 降低至 0.4～0.26 μm，抛光后尺寸和形状精度可达到 0.01 mm 以内。

② 抛光后不会使工件产生热变形或应力。

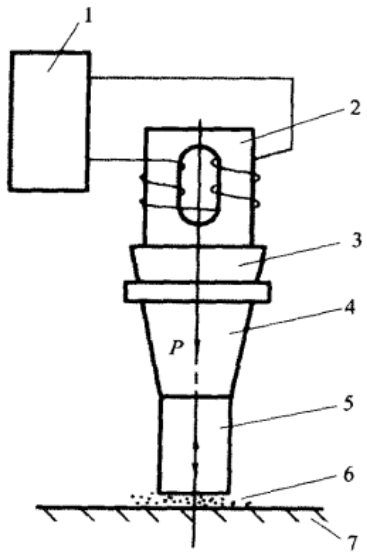
③ 工件硬度不影响加工速度。

④ 对型腔中用一般方法难以修磨的部分及形状，可采用相应形状的修磨工具进行加工，操作方便、灵活。

⑤ 装置简单，工作电压低，电解液无毒，生产安全。

(3) 超声波抛光

超声波抛光是超声加工的一种形式，是利用超声振动的能量，通过机械装置对型腔表面进行抛光加工的一种工艺方法。图 4-76 所示为超声波抛光原理示意图，抛光时将工具 5 和工件 7 之间加入磨料悬浮液，工具以较小的压力压在工件表面上，超声换能器 2 通入 50 Hz 的交流电，产生 16 000 Hz 以上的超声频电振荡，并借助变幅杆把位移振幅放大，驱使工具端面作超声振动，使悬浮液中的磨料不断撞击和抛磨被加工表面，起到微切削作用。



1—超声发生器；2—超声换能器；3，4—变幅杆；5—工具；6—磨料悬浮液；7—工件

图 4-76　超声波抛光原理示意图

电火花精加工之后进行超声波抛光时，抛光余量一般控制在 0.02～0.04 mm 之内，其他情况抛光余量不超过 0.15 mm。

超声波抛光的特点：

① 超声波抛光适用于硬脆材料及不导电的非金属材料。

② 工具对工件的作用力和热影响小，超声波抛光不会引起热变形和烧伤，加工精度可达 0.01～0.02 mm，表面粗糙度 R_a 为 1～0.1 μm。

③ 工具头可以用软材料做成复杂形状，因此可以抛光复杂的塑孔和型腔表面。

④ 可以抛光薄壁、薄片、深槽、窄缝和低刚度零件。

⑤ 超声波抛光设备简单，使用和维修方便，操作容易。

2. 模具的表面处理

模具表面处理在很大程度上提高了模具的性能和耐用度，降低了成本。模具的表面处理技术在模具制造中应用非常广泛，除传统的表面淬火、渗碳、渗氮、碳氮共渗、堆焊和电镀技术外，还有化学气相沉积、物理气相沉积、激光表面强化、热喷涂技术等。这里只简要介绍其中的几种表面处理方法。

(1) 渗　碳

渗碳是向钢件表面渗入碳原子的过程。在模具制造过程中，主要用于模具表面的强化，提高模具的硬度和耐磨性。具有渗速快、渗层深、渗层硬度梯度与成分梯度易控制、成本低等特点，能有效提高材料的表面硬度、耐磨性等。

根据所采用介质的不同，渗碳可分为固体渗碳、气体渗碳、真空渗碳和离子渗碳。其中，固定渗碳和气体渗碳应用广泛，但真空渗碳和离子渗碳技术由于扩渗快、渗层及成分梯度分布均匀以及工件变形小等特点，在模具表面处理尤其是精密模具表面处理中发挥越来越重要的作用。

(2) 渗　氮

渗氮是向钢件表面渗入氮原子的过程。钢氮化后可获得极高的硬度、高的耐磨性、高的疲

劳强度、一定的耐腐蚀性和抗热性以及热处理变形小等性能和优点，应用广泛。常用的渗氮方法主要有气体渗氮和离子渗氮。

气体渗氮是将工件放在密封的炉内加热，并通入氨气。渗氮的加热温度低，因此工件的变形小，氧化脱碳少。如果渗氮的目的是为了获得表面高的硬度、耐磨性和疲劳强度，则渗氮的温度不宜过高，一般为 500～570 ℃，而且要采用专用的氮化钢；如果渗氮的目的是单纯提高零件的抗腐蚀能力，则氮化的温度一般为 590～720 ℃，保温时间仅为 0.5～3 h。

离子渗氮是将零件放入真空炉，零件接高压电源的阴极，与零件相对的炉壁接阳极，炉内抽真空，通入氨气。在高压电场的作用下发生电离，被电离的氮离子最终变成活性氮原子，渗入零件的表面，形成氮化层。离子渗氮的特点是氮化时间短，氮化层质量高，脆性低，工件变形极小，适用于处理精密零件和复杂零件。

(3) 化学气象沉积(CVD)

CVD 是利用空间气相反应在基材表面上沉积固态薄膜的工艺技术。在高温下将盛放工件的炉内抽成真空或通入氢气，再导入反应气体。气体的化学反应在工件表面形成硬质化合物涂层。

化学气象沉积特点：处理温度高，涂层纯度高、致密，气孔极少，与基体之间的结合比较牢固；用于形状复杂的模具也能获得均匀的涂层；可在常压和低压下进行沉积；设备简单，成本低，效果好(可提高模具寿命 2～6 倍)，易于推广。但处理温度高，易引起模具变形；涂层厚度较薄，处理后不允许研磨修正。

(4) 物理气相沉积(PVD)

PVD 是气态物质在工件表面直接沉积成固体薄膜的过程，常见有真空蒸镀、阴极溅射镀膜和离子镀等。

真空蒸镀是将工件与沉积材料同放于真空室中，利用电阻或电子束加热沉积材料，使材料迅速熔化蒸发，当蒸发的粒子与冷工件表面接触后，便在工件表面上凝结成一定厚度的沉积层。其特点是：沉积速度快，但可镀性差；处理温度低，模具变形小；设备及工艺操作简单；镀层较疏松，与基体结合力较弱，耐冲击和耐磨性差等。

阴极溅射镀膜是利用高速运动的离子源轰击由成膜材料制成的极靶(阴极)，使极靶表面上的原子以一定能量逸出，并沉积在工件表面上。PVD 方法可获得金属涂层或化合物涂层。其特点是：镀膜密度大、气孔少，与基材结合力强；任何物质均可溅射，但有的沉积速度慢；设备及工艺操作复杂。

离子镀是在真空条件下利用气体放电使气体或被蒸发物质部分离子化，在气体离子或被蒸发物质离子轰击作用的同时，把蒸发物质或其反应物沉积到基底材料上。其特点是：工艺温度低，可在 550 ℃以下进行；镀层致密、气孔少，沉积速度快；离子绕射能力强，镀层均匀；由于工件表面被溅射净化，镀层与基体结合力强；高熔点合金及化合物的离子镀较困难；设备及工艺操作复杂。

4.3 模具的装配

模具的装配就是将模具的组成零件按照图纸的要求按顺序连接和固定起来，并经过试模使之能够生产出合格制品的过程。模具装配精度的高低及质量的好坏，直接影响制品生产是

否能够正常进行及制品的尺寸、精度及成本。因此，模具的装配是模具制造过程中的重要环节。

4.3.1　模具装配的方法

1. 互换装配法

(1) 完全互换法

在装配时各配合零件不经修理、选择和调整即可达到装配的精度要求。其装配的精度要求和被装配零件的制造公差之间应满足下列关系：

$$T_\Sigma \geqslant T_1 + T_2 + \cdots + T_{n-1} = \sum_{i=1}^{n-1} T_i$$

式中：T_Σ——装配精度所允许的误差范围，mm；

T_i——影响装配精度的零件尺寸制造公差，mm。

完全互换法的特点是装配简单，对工人技术要求不高，装配质量稳定，易于流水作业，生产率高，模具维修方便，使用范围广。但其零件加工困难。

(2) 不完全互换法

在装配时各配合零件的制造公差将有部分不能达到完全互换装配的要求。

不完全互换法是按 $T_\Sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} T_i^2}$ 确定装配尺寸链中各组成零件的尺寸公差，可使尺寸链中各组成环的公差增大，使产品加工容易和经济，但将有 0.27% 的零件不能互换。适用于成批和大量生产。

2. 分组装配法

分组装配法是将模具各配合的零件按实测尺寸分组，装配时按组进行互换装配以达到装配精度的方法。

在成批和大量生产中，可先将零件的制造公差扩大数倍，按经济精度进行加工，然后将加工出来的零件按扩大前的公差大小分组进行装配。

分组装配法的特点：每组配合尺寸的公差要相等，以保证分组后各组的配合精度和配合性质都能达到原来的设计要求；分组不宜过多；不宜用于组成环很多的装配尺寸链，一般 $n<4$。

3. 修配装配法

修配装配法指在装配时修去指定零件上的预留修配量以达到装配精度的方法。适用于单件小批量生产的模具装配。常用的修配方法有以下两种。

(1) 按件修配法

在装配尺寸链的组成环中预先指定一个零件作为修配件(修配环)，并预留一定的加工余量。装配时，再用切削加工改变该零件的尺寸以达到装配精度要求。

(2) 合并加工修配法

把 2 个或 2 个以上的零件装配在一起后，再进行机械加工，以达到装配精度要求。如图 4-77 所示，凸模和固定板装配后，再进行磨削上平面，以保

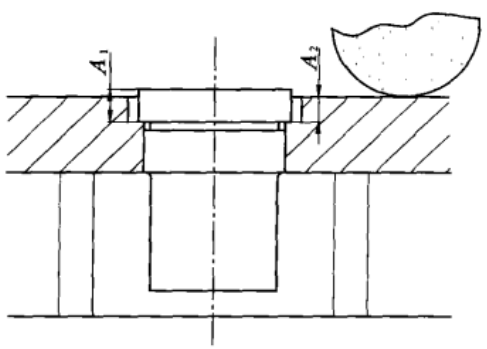


图 4-77　磨凸模和固定板的上平面

证装配要求。

4.3.2 冷冲压模具的装配

1. 冷冲模装配的技术要求

① 装配好的冷冲模，其闭合高度应符合设计要求

② 模柄装入上模座后，其轴心线对上模座上平面的垂直度误差，在全长范围内不大于0.05 mm。

③ 导柱和导套装配后，其轴心线应分别垂直度于下模座的底平面和上模座的上平面。

④ 上模座的上平面应和下模座的底平面平行。

⑤ 装入模架的每对导柱和导套的配合间隙值应符合规定要求。

⑥ 装配好的模架，其上模座沿导柱上、下移动应平稳，无阻滞现象。

⑦ 装配后的导柱，其固定端面与下模座下平面应保留 1～2 mm 距离，选用 B 型导套时，装配后其固定端面低于上模座上平面 1～2 mm。

⑧ 凸模和凹模的配合间隙应符合设计要求，沿整个刃口轮廓应均匀一致。

⑨ 定位装置要保证定位正确可靠。

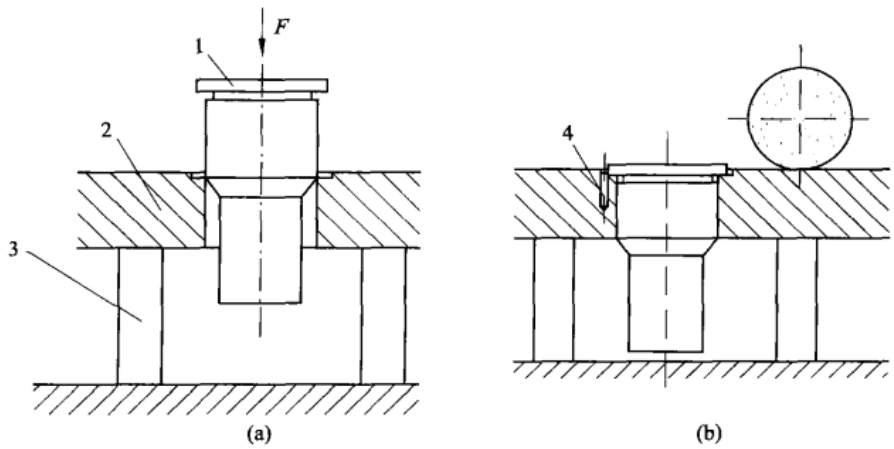
⑩ 卸料及顶件装置灵活、正确、出料孔畅通无阻，保证工件及废料不卡在冷冲模内。

⑪ 模具应在产生的条件下进行试验，冲出的工件应符合设计要求。

2. 模具零部件的装配

(1) 模柄的装配

模柄的装配有压入式、凸缘式、旋入式等多种方式，图 4－78(a)所示为常用的压入式装配方法。用压力机将模柄压入上模座，检验后再加工骑缝销孔并安装骑缝销，最后将模柄端面突出的部分磨平，如图 4－78(b)所示。模柄与上模座的配合为 H7/m6。

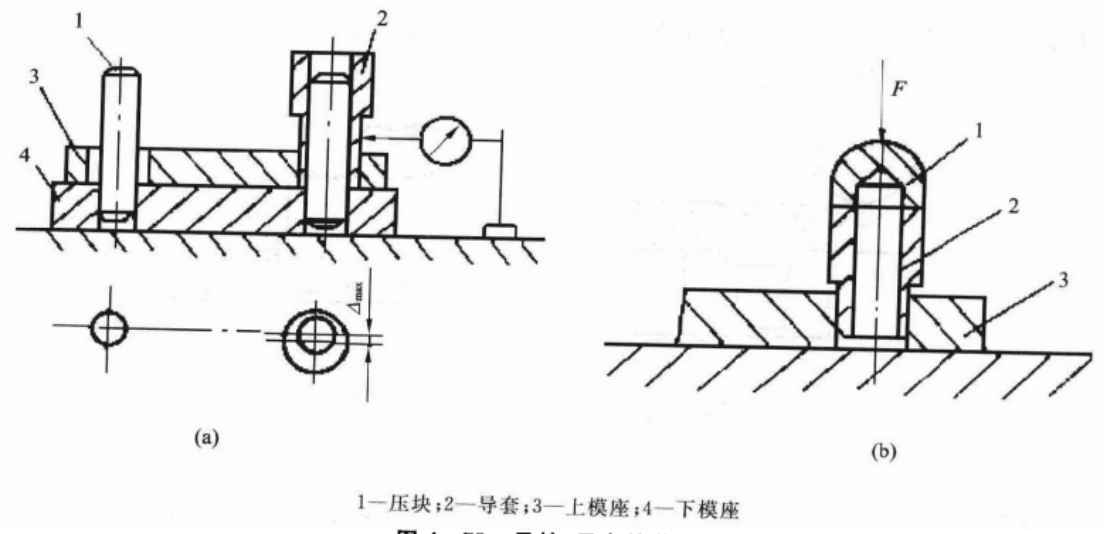


1—模柄；2—上模座；3—等高垫铁；4—骑缝销

图 4－78 模柄的装配和磨平

(2) 导柱和导套的装配

导柱、导套与上、下模座主要采用压入式装配，如图 4－79 所示。装配时，为方便装配，一般在装配前将上、下模座底孔口倒角，并涂上润滑油。



1—压块；2—导套；3—上模座；4—下模座

图 4－79　导柱、导套的装配

1）导柱的装配

如图 4－79(a)所示，将下模座底面向上，把专用压块放在导柱上端面后由压力机压入，压入时要注意校正导柱对模座底面的垂直度。导柱装配后的垂直度误差采用比较测量进行检验。

2）导套的装配

如图 4－79(b)所示，导套的装配方式与导柱相似。将装配好导柱和导套的模座组合在一起，按要求检测被测表面，如图 4－80 所示。

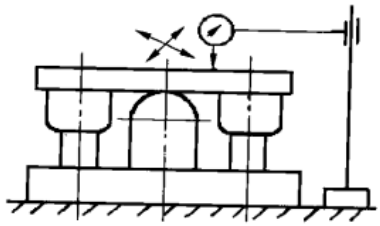


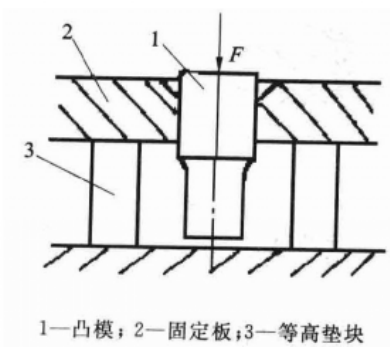
图 4－80　模架平行度的检查

(3) 凹、凸模的装配

凹、凸模安装固定方法有机械固定法、物理固定法和化学固定法三类。下面介绍凹、凸模装配时两种常用的方法。

1）压入装配法

压入装配法也是导柱、导套安装时采用的一种方法。图 4－81 和图 4－82 分别为铆接的和带凸肩的凸模装配。带凸肩的凸模其压入部分应设有引导结构，可采用小圆角、小锥度或在 3 mm 左右的长度内，将直径磨小 0.03～0.05 mm，铆接的凸模装配后用手锤和凿子把凸模尾端铆翻。



1—凸模；2—固定板；3—等高垫块

图 4－81　铆接的凸模装配

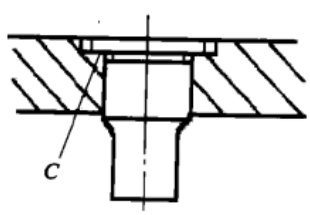


图 4－82　带凸肩的凸模装配

压入后以固定板另一面作基准，在平面磨床上将固定板底面及凸模固定端面一起磨平，如图 4－83(a)所示；再以此面为基准，磨凸模刃口，如图 4－83(b)所示。

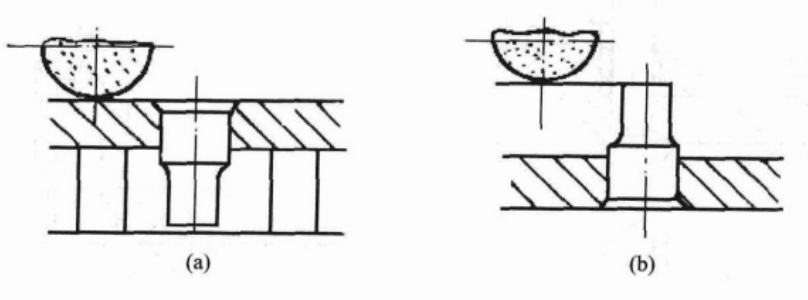


图 4－83　磨平面及刃口

2）环氧树脂粘结法

环氧树脂粘结法是利用环氧树脂粘结剂，将模具固定零件进行粘结固定的方法。图 4－84 所示是用环氧树脂粘结法固定凸模的几种常见结构形式。

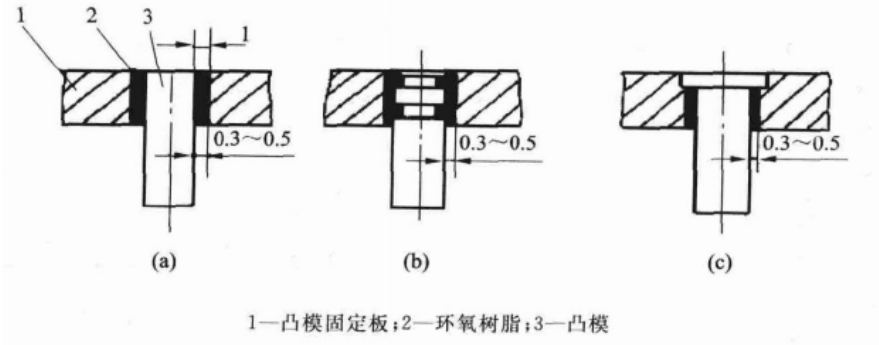


图 4－84　用环氧树脂粘结法固定凸模的形式

粘结固定的过程是先将凸模非连接部分夹持在专门装置的凹模 1 中(图 4－85(a))，以保证凸模的垂直度及在模板中的正确位置，调整好凸模与孔的间隙后，向其中浇注环氧树脂黏结剂，固化后即可固定，如图 4－85(b)所示。

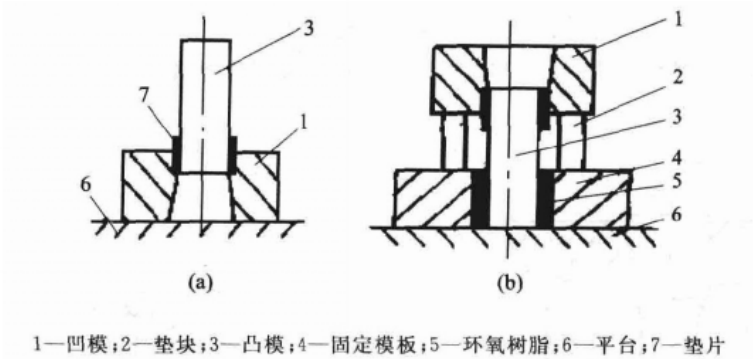
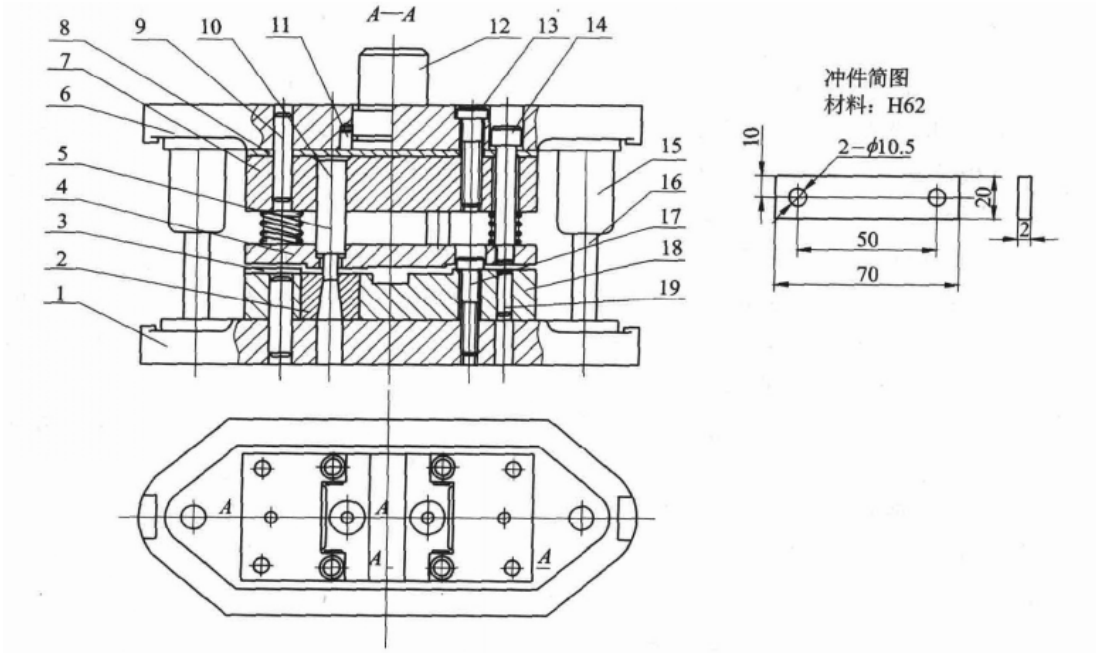


图 4－85　用环氧树脂粘结剂浇注固定凸模

3．冷冲模的总装

下面以图 4－86 所示的冲裁模为例，说明冷冲压模具的总装过程。



1—下模座；2—凹模；3—定位板；4—弹压卸料板；5—弹簧；6—上模座；7，18—固定板；8—垫板；9，11，19—销钉；10—凸模；12—模柄；13，17—螺钉；14—卸料螺钉；15—导套；16—导柱

图 4-86　冲裁模

图 4-86 所示冲裁模在使用时，下模座部分被压紧在压力机的工作台上，是模具的固定部分。上模座部分通过模柄和压力机的滑块连为一体，是模具的活动部分。模具工作时安装在活动部分和固定部分的模具工作零件必须保持正确的相对位置，能使模具获得正常的工作状态。装配模具时为了方便，将上、下两部分的工作零件调整到正确位置，使凸、凹模有均匀的冲裁间隙，应正确安排上、下模的装配顺序。否则，在装配中可能出现困难，甚至出现无法装配的情况。

上、下模的装配顺序应根据模具的结构来决定。对于无导柱的模具，凸、凹模的配合间隙是在模具安装到压力机上时才进行调整的，上、下模的装配先后对装配过程不会产生影响，可以分别进行。

装配有模架的模具时，一般总是先将模架装配好，再进行模具工作零件和其他结构零件的装配。是先装配上模部分还是下模部分，应根据上模和下模所安装的模具零件在装配和调整过程中所受限制的情况来决定。如果上模部分的模具零件在装配和调整时所受的限制最大，应先装上模部分，并以它为基准调整下模的模具零件，保证凸、凹模配合间隙均匀。反之，则先装模具的固定部分，并以它为基准调整模具活动部分的零件。

冲裁模在完成模架和凸、凹模装配后可进行总装，该模具宜先装下模。

(1) 装配顺序

① 把组装好凹模的固定板安放在下模座上，按中心线找正固定板 18 的位置，用平行夹头夹紧，通过螺钉孔在下模座上钻出锥窝。拆去凹模固定板，在下模座上按锥窝钻螺纹底孔并攻丝。再重新将凹模固定板置于下模座上找正，用螺钉紧固。钻、铰销孔，打入销钉定位。

② 在组装好凹模的固定板上安装定位板。

③ 配钻卸料螺钉孔。将卸料板 4 套在已装入固定板的凸模 10 上，在固定板上钻出锥窝，拆开后按锥窝钻固定板上的螺钉过孔。

④ 将已装入固定板的凸模 10 插入凹模的型孔中。在凹模 2 与固定板 7 之间垫入适当高度的等高垫铁，将垫板 8 放在固定板 7 上。再以套柱导套定位安装上模座，用平行夹头将上模座 6 和固定板 7 夹紧。通过凸模固定板孔在上模座上钻锥窝，拆开后按锥窝钻孔，然后用螺钉将上模座、垫板、凸模固定板稍加紧固。

⑤ 调整凸、凹模的配合间隙。将装好的上模部分套在导柱上，用手锤轻轻敲击固定板 7 的侧面，使凸模插入凹模的型孔。再将模具翻转，从下模板的漏料孔观察凸、凹模的配合间隙，用手锤敲击凸模固定板 7 的侧面进行调整使配合间隙均匀。这种调整方法称为透光法。为便于观察可用手灯从侧面进行照射。

⑥ 经上述调整后，以纸作冲压材料，用锤子敲击模柄，进行试冲。如果冲出的纸样轮廓齐整，没有毛刺或毛刺均匀，说明凸、凹模间隙是均匀的，如果只有局部毛刺，则说明间隙是不均匀的，应重新进行调整直到间隙均匀为止。

⑦ 调好间隙后，将凸模固定板的紧固螺钉拧紧。钻、铰定位销孔，装入定位销钉。装入定位销钉将卸料板 4 套在凸模上，装上弹簧和卸料螺钉，检查卸料板运动是否灵活。在弹簧作用下卸料板处于最低位置时，凸模的下端面应缩在卸料板 4 的孔内约 0.5～1 mm。

装配好的模具经试冲、检验合格后即可使用。

(2) 调整冲裁间隙的方法

在模具装配时，保证凸、凹模之间的配合间隙均匀十分重要。凸、凹模的配合间隙是否均匀，不仅影响冷冲模的使用寿命，而且对于保证冲件质量也十分重要。冲裁间隙的调整方法有以下几种：

1) 透光法

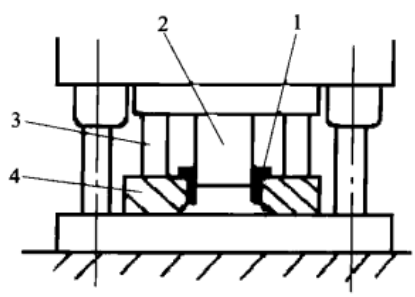
透光法是用灯光照射透过凸、凹模的间隙，观察透过光线的强弱来判断间隙是否均匀，并进行调整。

2) 测量法

测量法是将凸模插入凹模型孔内，用塞尺检查凸、凹模不同部位的配合间隙，根据检查结果调整凸、凹模之间的相对位置，使两者在各部分的间隙一致。适用于凸、凹模配合间隙(单边)在 0.02 mm 以上的模具。

3) 垫片法

垫片法是根据凸、凹模配合间隙的大小，在配合间隙内垫入厚度均匀的纸条(易碎不可靠)或金属片，使凸、凹模配合间隙均匀，如图 4－87 所示。



1—垫片；2—凸模；3—等高垫铁；4—凹模

图 4－87　垫片法调整凸、凹模配合间隙

4) 涂层法

在凸模上涂一层涂料(如磁漆或氨基醇酸绝缘漆等)，其厚度等于凸、凹模的单边配合间隙，再将凸模插入凹模型孔，获得均匀的冲裁间隙。此法简便，对于不能用垫片法(小间隙)进行调整的冲裁模很适用。

5) 电镀法

电镀法和涂层法相似，在凸模的工作端镀一层厚度等于凸、凹模单边配合间隙的铜(或锌)

层，使凸、凹模获得均匀的配合间隙。镀层在模具使用过程中可自行剥落，在装配后不必去除。

4. 试　模

模具装配完成后，在生产条件下进行试冲，通过试冲可以发现模具的设计和制造缺陷，找出产生原因，对模具进行适当的调整和修理后再进行试冲，直到模具能正常工作，冲出合格的制件，模具的装配过程即告结束。

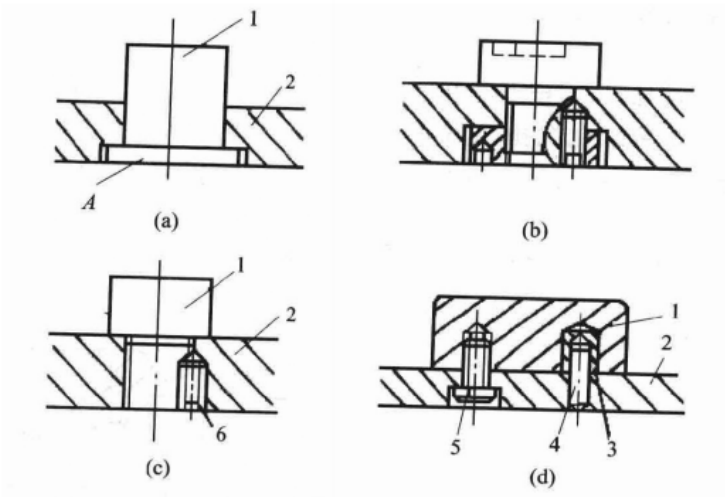
4.3.3　塑料模具的装配

塑料模装配与冷冲模装配有许多相似之处，但在某些方面其要求更为严格。如塑料模闭合后要求分型面均匀密合。在有些情况下，动模和定模上的型芯也要求在合模后保持紧密接触。类似这些要求常常会增加修配的工作量。

1. 塑料模零部件的装配

(1) 型芯的装配

由于塑料模的结构不同，型芯在固定板上的固定方式也不相同。常见的固定方式如图 4－88 所示。



1—型芯；2—固定板；3—定位销套；4—定位销；5—螺钉；6—骑缝螺钉

图 4－88　型芯的固定方式

1) 采用过渡配合

图 4－88(a)所示的采用过渡配合的固定方式其装配过程与装配带台肩的冷冲模的凸模相类似。为保证装配要求应注意下列几点：

① 检查型芯高度及固定板厚度(装配后能否达到设计尺寸要求)，型芯台肩平面应与型芯轴线垂直。

② 固定板通孔与沉孔平面的相交处一般为 90°角，而型芯上与之相应的配合部位往往呈圆角(磨削时砂轮损耗形成)，装配前应将固定板的上述部位修出圆角，使之不对装配产生不良影响。

2) 用螺母固定

图 4－88(b)所示螺母固定方式对于某些有方向要求的型芯，装配时只需按设计要求将型

芯调整到正确位置后，用螺母固定，使装配过程简便。这种固定形式适合于固定外形为任何形状的型芯，以及在固定板上同时固定几个型芯的场合。

3）用螺纹固定

图 4－88(c)所示的用螺纹固定方式，常用于热固性塑料压缩模。对某些有方向要求的型芯，当螺纹拧紧后型芯的实际位置与理想位置之间常常出现误差。如图 4－89 所示，α 是理想位置与实际位置之间的夹角。型芯的位置误差可以通过修磨 a 或 b 面来消除。为此，应先进行预装并测出角度 α 的大小，当螺纹的螺距为 P 时，其修磨量 $\Delta_{修磨}$ 为

$$\Delta_{修磨} = \frac{P}{360°}\alpha$$

图 4－88(b)(c)所示的型芯固定方式，在型芯位置调好并紧固后要用骑缝螺钉定位。骑缝螺钉孔应安排在型芯淬火之前加工。

4）大型芯的固定

如图 4－88(d)所示，装配时可按下列顺序进行：

① 在加工好的型芯上压入实心的定位销套。

② 根据型芯在固定板上的位置要求将定位块用平行夹头夹紧在固定板上，如图 4－90 所示。

③ 在型芯螺孔口部抹红粉，把型芯和固定板合拢，将螺钉孔位置复印到固定板上取下型芯，在固定板上钻螺钉过孔及锪沉孔；用螺钉将型芯初步固定。

④ 通过导柱导套将卸料板、型芯和支承板安装在一起，将型芯调整到正确位置后拧紧固定螺钉。

⑤ 在固定板的背面划出销孔位置线。钻、铰销孔，打入销钉。

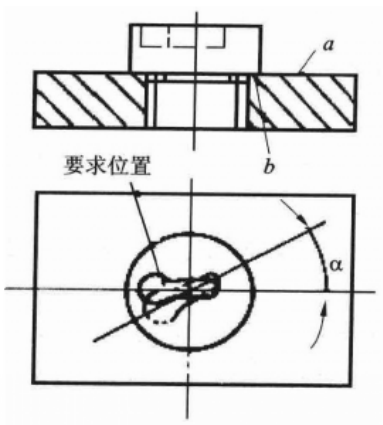
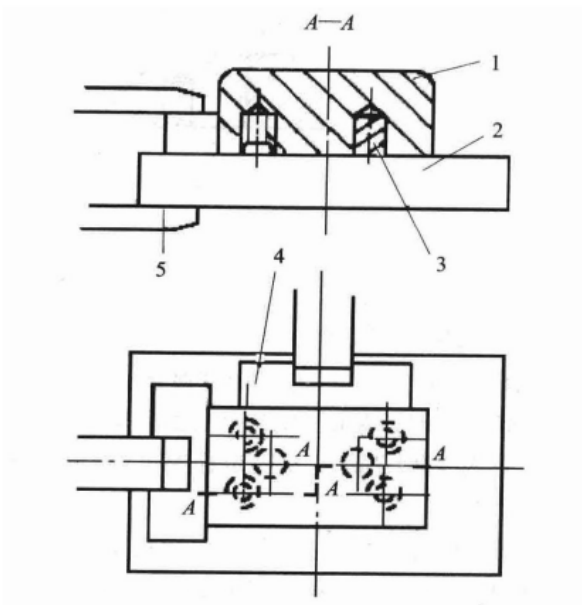


图 4－89　型芯的位置误差



1—型芯；2—固定板；3—定位销套；4—定位块；5—平行夹头

图 4－90　大型芯与固定板的装配

（2）型腔的装配

1）整体式型腔

图 4－91 是圆形整体型腔的镶嵌形式。型腔和动、定模板镶合后，其分型面上要求紧密无缝，因此，对于压入式配合的型腔，其压入端一般都不允许有斜度。

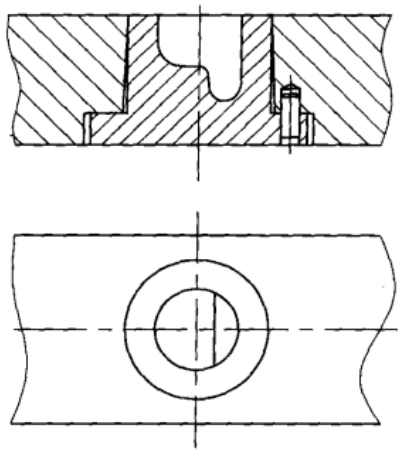


图 4－91　整体式型腔

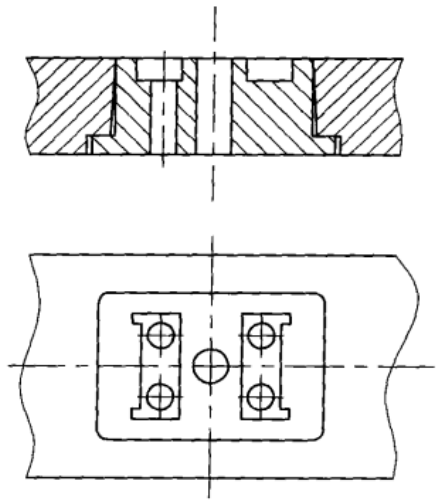


图 4－92　拼块结构的型腔

2）拼块结构的型腔

图 4－92 所示的是拼块结构的型腔。这种型腔的拼合面在热处理后要进行磨削加工。

3）拼块结构型腔的装配

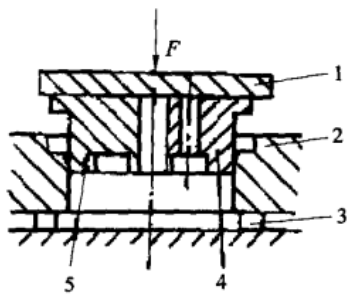
为了不使拼块结构的型腔在压入模板的过程中，各拼块在压入方向上产生错位，应在拼块的压入端放一块平垫板，通过平垫板推动各拼块一起移动，如图 4－93 所示。

4）型芯端面与加料室底平面间间隙

图 4－94 所示是压缩模装配后在型芯端面与加料室底平面间出现了间隙，可采用下列方法消除：

① 修磨固定板平面 A。修磨时需要拆下型芯，磨去的金属层厚度等于间隙值 Δ。

② 修磨型腔上平面 B。修磨时不需要拆卸零件，比较方便。



1—平垫板；2—模板；3—等高垫板；4，5—型腔拼块

图 4－93　拼块结构型腔的装配

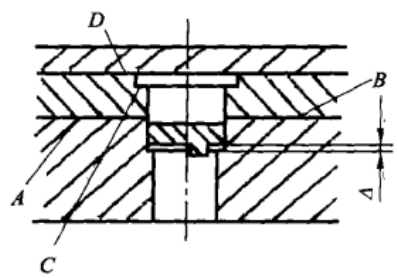


图 4－94　型芯端面与加料室底平面间出现间隙

③ 修磨型芯(或固定板)台肩 C。采用这种修磨法应在型芯装配合格后,再将支承面 D 磨平。此法适用于多型芯模具。

5) 装配后型腔端面与型芯固定板间间隙

图 4-95(a)所示是装配后型腔端面与型芯固定板间有间隙(Δ)。为了消除间隙可采用以下修配方法:

① 修磨型芯工作面 A。只适用于型芯端面为平面的情况。

② 在型芯台肩和固定板的沉孔底部垫入垫片,如图 4-95(b)所示。此方法只适用于小型模具。

③在固定板和型腔的上平面之间设置垫块,如图 4-95(c)所示,垫块厚度不小于 2 mm。

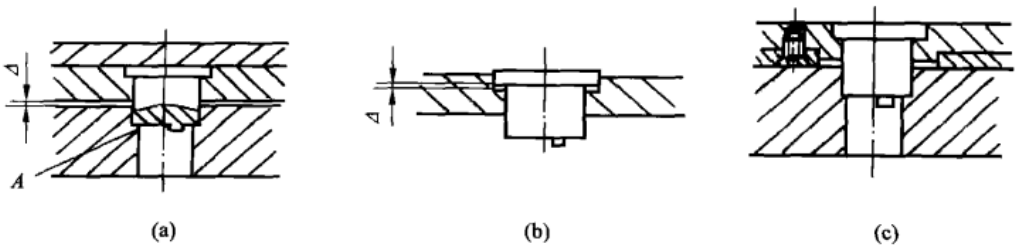


图 4-95 型腔端面与型芯固定板间有间隙

(3) 主流道衬套的装配

主流道衬套与定模板的配合一般采用 H7/m6。它压入模板后,其台肩应和沉孔底面贴紧。装配的主流道衬套,其压入端与配合孔间应无缝隙。所以,主流道衬套的压入端不允许有导入斜度,应将导入斜度开在模板上主流道衬套配合孔的入口处。为了防止在压入时主流道衬套将配合孔壁切坏,常将主流道衬套的压入端倒成小圆角。在主流道衬套加工时应留有去除圆角的修磨余量 Z,压入后使圆角突出在模板之外,如图 4-96 所示。然后在平面磨床上磨平,如图 4-97 所示。最后再把修磨后的主流道衬套稍微退出,将固定板磨去 0.02 mm,重新压入后成为图 4-98 所示的形式。台肩对定模板的高出量 0.02 mm 亦可采用修磨来保证。

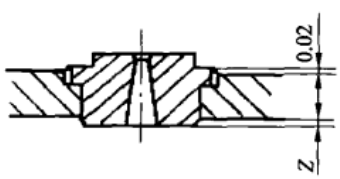


图 4-96 压入后的主流道衬套

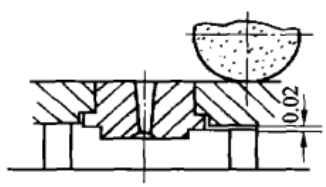


图 4-97 修磨主流道衬套

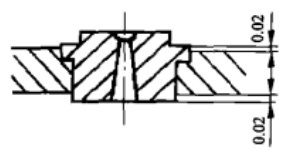


图 4-98 装配好的主流道衬套

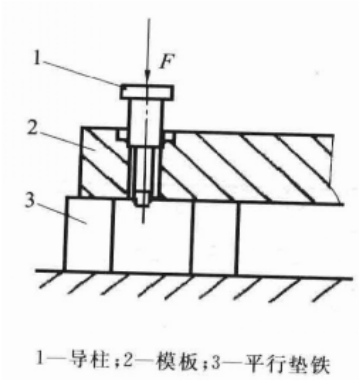
(4) 导柱和导套的装配

导柱、导套分别安装在塑料模的动模和定模部分,是模具合模和开模的导向装置。

导柱、导套可采用压入方式装入模板的导柱和导套孔内。对于不同结构的导柱所采用的装配方法也不同。短导柱可以采用图 4-99 所示的方法压入。长导柱应在定模板上的导套装配完成之后,以导套导向将导柱压入动模板内,如图 4-100 所示。

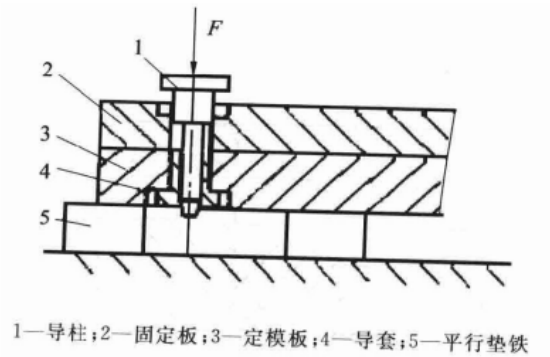
导柱、导套装配后,应保证动模板在开模和合模时都能灵活滑动,无卡滞现象。因此,加工

时除保证导柱、导套和模板等零件间的配合要求外，还应保证动、定模板上导柱和导套安装孔的中心距一致(其误差不大于 0.01 mm)。压入前应对导柱、导套进行选配。压入模板后，导柱和导套孔应与模板的安装基面垂直。如果装配后开模和合模不灵活，有卡滞现象，可用红粉涂于导柱表面，往复拉动动模板，观察卡滞部位，分析原因，然后将导柱退出，重新装配。在 2 根导柱装配合格后再装配第三、第四根导柱。每装入一根导柱均应作上述观察。最先装配的应是距离最远的 2 根导柱。



1—导柱；2—模板；3—平行垫铁

图 4-99　短导柱的装配



1—导柱；2—固定板；3—定模板；4—导套；5—平行垫铁

图 4-100　长导柱的装配

(5) 推杆的装配

推杆为推出塑件所用。推杆应运动灵活，尽量避免磨损。推杆由推杆固定板及推板带动运动。由导向装置对推板进行支承和导向。导柱、导套导向的圆形推杆可按下列顺序进行装配：

1) 配作导柱、导套孔

将推板、推杆固定板、支承板重叠在一起，配作导柱、导套孔。

2) 配作推杆孔及复位杆孔

将支承板与动模板(型腔、型芯)重叠，配钻复位杆孔，按型腔(型芯)上已加工好的推杆孔，配钻支承板上的推杆孔。配钻时以固定板和支承板的定位销定位。

3) 推杆装配按下列步骤操作：

① 将推杆孔入口处和推杆顶端倒出小圆角或斜度；当推杆数量较多时，应与推杆孔进行选择配合，保证滑动灵活，不溢料。

② 检查推杆尾部台肩厚度及推杆固定板的沉孔深度，保证装配后有 0.05 mm 的间隙，对过厚者应进行修磨。

③ 将推杆及复位杆装入固定板，盖上推板，用螺钉紧固。

④ 检查及修磨推杆及复位杆顶端面。

(6) 滑块抽芯机构的装配

滑块抽芯机构装配后，应保证滑块型芯与凹模达到所要求的配合间隙；滑块运动灵活、有足够的行程、正确的起止位置。

滑块装配常常要以凹模的型面为基准。因此，它的装配要在凹模装配后进行。其装配顺序如下：

1）装配凹模(或型芯)

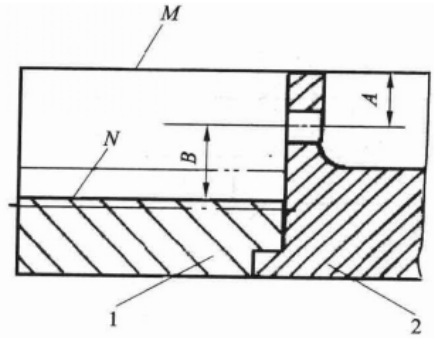
将凹模镶拼压入固定板，磨上、下平面并保证尺寸 A，如图 4－101 所示。

2）加工滑块槽

将凹模镶块退出固定板，精加工滑块槽，其深度按 M 面决定。如图 4－101 所示。N 为槽的底面。T 形槽按滑块台肩实际尺寸精铣后，钳工最后修正。

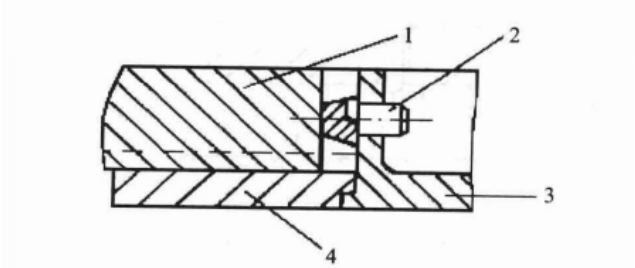
3）钻型芯固定孔

利用定中心工具在滑块上压出圆形印迹，如图 4－102 所示。按印迹找正，钻、镗型芯固定孔。



1—凹模固定板；2—凹模镶块

图 4－101　凹模装配



1—侧型芯滑块；2—定中心工具；3—凹模镶块；4—凹模固定板

图 4－102　型芯固定孔压印图

4）装配滑块型芯

在模具闭合时滑块型芯应与定模型芯接触，如图 4－103 所示。一般都在型芯上留出余量通过修磨来达到。其操作过程如下：

① 将型芯端部磨成与定模型芯相应部位吻合的形状。

② 将滑块装入滑块槽，使端面与型腔镶块的 A 面接触，测得尺寸 b 。

③ 将型芯装入滑块并推入滑块槽，使滑块型芯与定模型芯接触，测得尺寸 a。

④ 修磨滑块型芯，其修磨量为 $b-a-(0.05\sim0.1)$ mm。$(0.05\sim0.1)$ mm 为滑块端面与型腔镶块 A 面之间的间隙。

⑤ 将修磨正确的型芯与滑块配钻销钉孔后，用销钉定位。

5）楔紧块的装配

在模具闭合时楔紧块斜面必须和滑块斜面均匀接触，并保证有足够的锁紧力。为此，在装配时要求在模具闭合状态下，分型面之间应保留 0.2 mm 的间隙，如图 5－104 所示。此间隙靠修磨滑块斜面预留的修磨量保证。此外，楔紧块在受力状态下不能向闭模方向松动，所以楔紧块的后端面应与定模板处于同一平面。

根据上述要求，楔紧块的装配方法如下 ：

① 用螺钉紧固楔紧块。

② 修磨滑块斜面，使滑块斜面与楔紧块斜面密合。其修磨量为：$b=(a-0.2)\sin\alpha$。

③楔紧块与定模板一起钻铰定位销孔，装入定位销。

④ 将楔紧块后端面与定模板一起磨平。

6）加工斜导柱孔

7）修磨限位块

开模后滑块复位的起始位置由限位块定位。在设计模具时使滑块后端面与定模板外形平齐，由于加工中的误差而使两者不处于同一平面时，可按需要将限位块修磨成台阶形。

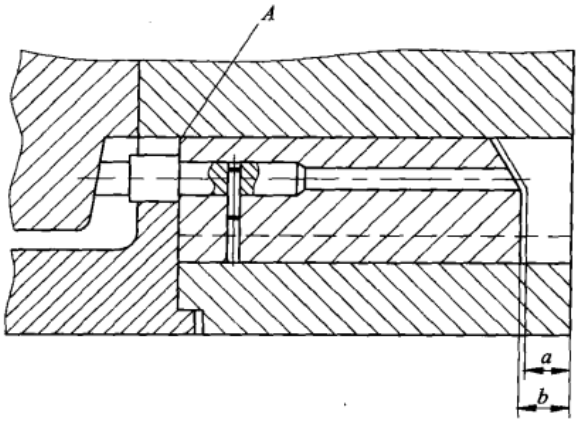


图 4－103　型芯修磨量的测量

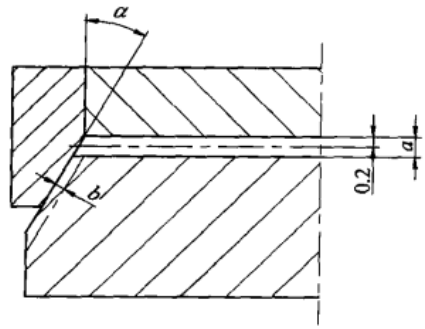


图 4－104　滑块斜面的修磨量

2. 塑料模的总装

下面以图 4－105 所示的注射模为例，说明塑料模具的总装过程。

（1）注射模的装配要求

① 装配后模具安装平面的平行度误差不大于 0.05 mm。

② 模具闭合后分型面应均匀密合。

③ 导柱、导套滑动灵活，推件时推杆和推件板动作必须保持同步。

④ 合模后，动模部分和定模部分的型芯必须紧密接触。

在进行总装前，模具已完成导柱、导套等零件的装配并检查合格。

（2）模具的总装顺序

1）装配动模部分

① 型芯的装配

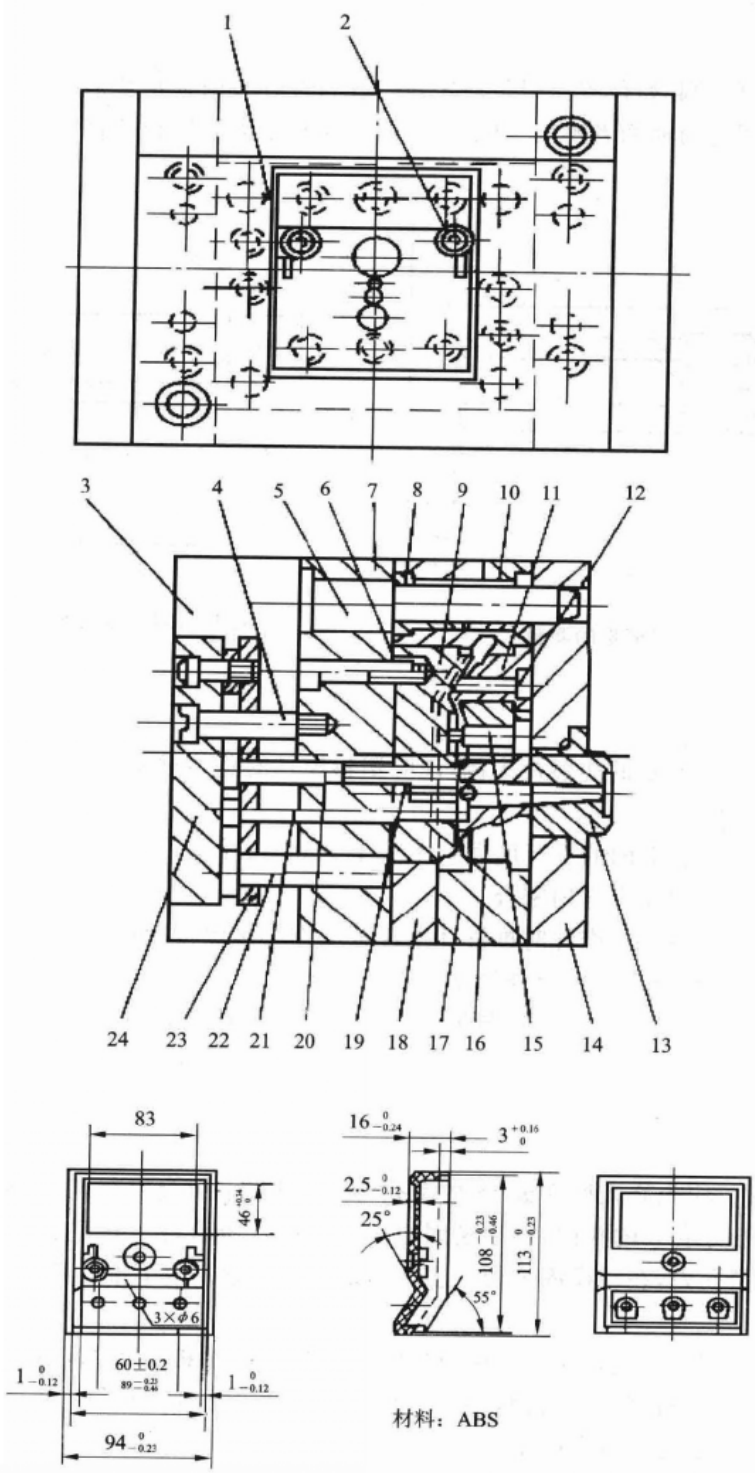
在装配前，钳工应先修光推件板 18 的型孔，并与型芯作配合检查，要求滑块灵活，然后将导柱 5 穿入推件板导套 8 的孔内，将动模固定板 7 和推件板合拢。在型芯上的螺孔口部涂红粉后放入推件板型孔内，在动模固定板上复印出螺孔的位置。取下推件板和型芯，在固定板上加工螺钉过孔。

把销钉套压入型芯并装好拉料杆后，将动模固定板、推件板和型芯重新装合在一起，调整好型芯的位置后，用螺钉紧固。按固定板背面的划线，钻、绞定位销孔，打入定位销。

② 配作动模固定板上的推杆孔

先通过型芯上的推杆孔，在动模固定板上钻锥窝；拆下型芯，按锥窝钻出固定板上的推杆孔。

将矩形推杆穿入推杆固定板、动模固定板和型芯（板上的方孔已在装配前加工好）。用平行夹头将推杆固定板和动模固定板夹紧，通过动模固定板配钻推杆固定板上的推杆孔。



1—矩形推杆；2—嵌件螺杆；3—垫块；4—限位螺杆；5—导柱；6—销套；7—动模固定板；8，10—导套；9，12，15—型芯；11，16—镶块；13—主流道衬套；14—定模座板；17—定模板；18—推件板；19—拉料杆；20，21—推杆；22—复位杆；23—推杆固定板；24—推板

图 4-105　热塑性塑料注射模

③ 配作限位螺杆孔和复位杆孔

首先在推杆固定板上钻限位螺杆过孔和复位杆孔。用平行夹板将动模固定板与推杆固定板夹紧，通过推杆固定板的限位螺杆孔和复位杆孔在动模固定板上钻锥窝，拆下推杆固定板，在动模固定板上钻孔并对限位螺杆孔攻螺纹。

④ 安装推杆及复位杆

将推板和推杆固定板叠合，配钻限位螺钉过孔及推杆固定板上的螺孔并攻螺纹。将推杆、复位杆装入固定板后盖上推板用螺钉紧固，并将其装入动模，检查及修磨推杆、复位杆的顶端面。

⑤ 垫块的装配

先在垫块上钻螺钉过孔、锪沉孔。再将垫块和推板侧面接触，然后用平行夹头把垫块和动模固定板夹紧，通过垫块上的螺钉过孔在动模固定板上钻锥窝，并钻、铰销钉孔。拆下垫块在动模固定板上钻孔并攻螺纹。

2）装配定模部分

① 镶块 11，16 与定模板 17 的装配

先将镶块 16、型芯 15 装入定模，测量出两者突出型面的实际尺寸。退出定模，按型芯 9 的高度和定模深度的实际尺寸，单独对型芯和镶块进行修磨后，再装入定模板，检查镶块 16、型芯 15 和型芯 9，看定模与推件板是否同时接触。将型芯 12 装入镶块 11 中，用销孔定位。以镶块外形和斜面作基准，预磨型芯斜面。将经过上述预磨的型芯、镶块装入定模，再将定模和推件板合拢，测量出分型面的间隙尺寸后，将镶块 11 退出，按测出的间隙尺寸，精磨型芯的斜面到要求尺寸。

将镶块 11 装入定模后，磨平定模的支承面。

② 定模板和定模座板的装配

在定模板和定模座板装配前，主流道衬套与定模座板已组装合格。因此，可直接将定模板与定模座板叠合，使主流道衬套上的浇道孔和定模上的浇道孔对正后，用平行夹头将定模板和定模座板夹紧，通过定模座板孔在定模板上钻锥窝及钻、铰销孔。然后将两者拆开，在定模上钻孔并攻螺纹。再将定模板和定模座板叠合，装入销钉后将螺钉拧紧。

3. 试　模

模具装配完成以后，在交付生产之前，应进行试模。试模的目的是：检查模具在制造上存在的缺陷，并查明原因加以排除；另外还可以对模具设计的合理性进行评定并对成型工艺条件进行探索，这将有益于模具设计和成型工艺水平的提高。试模应按下列顺序进行：

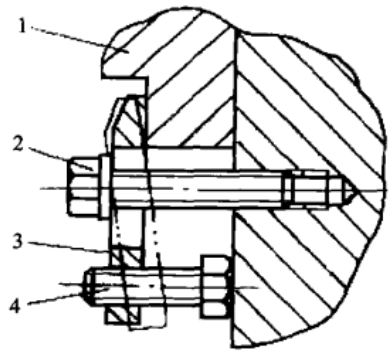
（1）装　模

在模具装上注射机之前，应按设计图样对模具进行检验，以便及时发现问题，进行修理，减少不必要的重复安装和拆卸。在对模具的固定部分和活动部分进行分开检查时，要注意方向记号，以免合拢时搞错。

模具尽可能整体安装，吊装时要注意安全，操作者要协调一致密切配合。当模具定位圈装入注射机上定模板的定位圈座后，可以极慢的速度合模，由动模板将模具轻轻压紧，然后装上压板。通过调节螺钉，将压板调整到与模具的安装基面基本平行后压紧，如图 4－106 所示。压板位置绝不允许像图中双点划线所示。压板的数量，根据模具的大小进行选择，一般为 4 至 8 块。

在模具被紧固后可慢慢启模，直到动模部分停止后退，这时应调节机床的顶杆使模具上的推杆固定板和动模支承板之间的距离不小于 5 mm，以防止顶坏模具。

为了防止制件溢边，又保证型腔能适当排气，合模的松紧程度很重要。由于目前还没有锁模力的测量装置，因此对注射机的液压柱塞—肘节锁模机构，主要是凭目测和经验调节。即在合模时，肘节先快后慢，既不很自然，也不太勉强的伸直时，合模的松紧程度就正好合适。对于需要加热的模具，应在模具达到规定温度后再校正合模的松紧程度。



1—座板；2—压紧螺钉；3—压板；4—调节螺钉

图 4-106　模具的紧固

最后，接通冷却水管或加热线路。对于采用液压或电动机分型模具的也应分别进行接通和检验。

(2) 试　模

经过以上的调整、检查，做好试模准备后，选用合格原料，根据推荐的工艺参数将料筒和喷嘴加热。由于塑件大小、形状和壁厚的不同，以及设备上热电偶位置的深度和温度表的误差也各有差异，因此资料上介绍的加工某一塑料的料筒和喷嘴温度只是一个大致范围，还应根据具体条件调试。判断料筒和喷嘴温度是否合适的最好办法是将喷嘴和主流道脱开，用较低的注射压力，使塑料自喷嘴中缓慢的流出，观察料流。如果没有硬头、气泡、银丝、变色，料流光滑明亮，即说明料筒和喷嘴温度是比较合适的，可以开机试模。

在开始注射时，原则上选择在低压、低温和较长的时间条件下成型。如果制件未充满，通常是先增加注射压力。当大幅度提高注射压力仍无效果时，才考虑变动时间和温度。延长时间实质上是使塑料在料筒内的受热时间增长，注射几次后若仍然未充满，最后才提高料筒温度。但料筒温度的上升以及它与塑料温度达到平衡需要一定的时间(一般约 15 min 左右)，需要耐心等待，不要过快地把料筒温度升得太高，以免塑料过热甚至发生降解。

注射成型时可选用高速和低速 2 种工艺。一般在制件壁薄而面积大时，采用高速注射，而壁厚面积小的塑件采用低速注射，在高速和低速都能充满型腔的情况下，除玻璃纤维增强塑料外，均宜采用低速注射。

对黏度高和热稳定性差的塑料，采用较慢的螺杆转速和略低的背压加料及预塑，而黏度低和热稳定性好的塑料可采用较快的螺杆转速和略高的背压。在喷嘴温度合适的情况下，采用喷嘴固定形式可提高生产率。但是，当喷嘴温度太低或太高时，需要采用每次注射后向后移动喷嘴的形式(喷嘴温度低时，由于后加料时喷嘴离开模具，减少了散热，故可使喷嘴温度升高；而喷嘴温度太高时，后加料时可挤出一些过热的塑料)。

在试模过程中应详细记录，并将结果填入试模记录卡，注明模具是否合格。如需返修，应提出返修意见。在记录卡中应摘录成型工艺条件及操作注意要点，最好能附上注射成型的制件，以供参考。

对试模后合格的模具，应清理干净，涂上防锈油后入库。

习　题

1. 什么是模具生产过程？包括哪些阶段？什么是模具生产工艺过程？

2. 模具的生产特点是什么？工艺特点是什么？

3. 模具生产中所使用的毛坯有哪几种形式？

4. 如何制订模具加工工艺规程？

5. 试写出模具的经济技术指标有哪些？

6. 什么是电规准转换？电规准一般可分为几种？各自起什么作用？

7. 保证模具装配的工艺方法有哪些？有何特点？它的适用场合是什么？

8. 什么是特种加工？它适用于什么场合？

9. 电火花成型加工的基本条件是什么？

10. 什么是电火花加工的基本规律？主要包括哪些内容？

11. 电火花加工中，工作液循环过滤系统的作用是什么？工作方式有哪几种？分别有何特点？

12. 模具装配精度主要包括哪些内容？一般用何种方法控制间隙？

13. 什么是电规准？它的大小对加工的工艺指标会产生何种影响？

14. 什么是研磨？研磨过程中发生哪些作用？研磨加工有何特点？相比较于研模具加工表面按加工工艺如何分类？各加工表面如何定义？有何特点？在加工上有何特点？

15. 什么是光整加工？试举几种常用的方法？

16. 磨、抛光有何不同点？研磨抛光余量确定的原则是什么？

17. 电火花线切割如何分类？相较于电火花成型加工有何优缺点？

附录：冷冲模和塑料模拆装实验指导书

实验一　冷冲模拆装实验

1. 实验目的

① 了解典型冷冲模的结构组成和工作原理。

② 熟悉冷冲模上各组成零部件名称及其在模具中所起的作用，相互之间的装配关系。

③ 掌握冷冲模装配和拆卸过程。

④ 提高实践动手能力及工具的正确使用。

2. 实验内容和要求

① 按 4 个组拆卸 4 套冷冲模：2 套冲裁模，1 套弯曲模和 1 套拉深模。

② 制定拆卸方案，确定可拆卸零件和不可拆卸零件。

③ 拆卸时，将上、下模分开，再分别拆下各组成零件，最后拆卸凸模、凸凹模等成型零件，达到可拆卸零件的全部分离。

④ 按照冷冲模的原始状态，正确进行装配。

3. 实验装备及工具

冲裁模 2 套，弯曲模 1 套，拉深模 1 套。

铁锤、铜棒、内六角扳手、活动扳手、游标卡尺、角尺、台虎钳等工具 4 套。

4. 实验步骤

① 在教师的指导下，首先熟悉冷冲模的总体结构，了解其工作原理。

② 按拆卸顺序拆卸冷冲模。边拆卸边了解冷冲模每个组成零件的结构及用途，判断凸、凹模在其固定板中定位及紧固方法，通过透光法观察冲裁间隙的均匀程度。

③ 将金属零部件涂抹防锈油。

④ 将冷冲模按初始状态重新装配，并进一步了解模具的结构及在压力机上工作时各部分动作、作用。

⑤ 绘制冷冲模装配草图。

5. 实验结果分析

① 每人绘制一张本组的冷冲模装配草图。

② 详细列出冷冲模上全部零件的名称、数量、用途及其所选用的材料；若选用的是标准件则列出标准代号。

③ 简要说明冷冲模的工作过程。

6. 实验报告

按规定的要求，写出实验报告。

7. 说明

实际做实验时，可根据具体情况和现有条件选用冷冲模，灵活安排实验内容。

实验二　注射模拆装实验

1. 实验目的

① 了解注射模的基本结构组成及其工作原理。

② 熟悉注射模上各组成零部件名称及其在模具中所起的作用，相互之间的装配关系。

③ 掌握注射模装配和拆卸过程。

④ 提高实践动手能力及工具的正确使用。

2. 实验内容和要求

① 按 2 个大组、4 个小组拆卸 1 套单分型面注射模和 1 套双分型面注射模。

② 制定拆卸方案，确定可拆卸零件和不可拆卸零件。

③ 拆卸时，将动、定模分开，再分别拆下各组成零件，最后拆卸型芯、凹模等成型零件，达到可拆卸零件的全部分离。

④ 按照注射模的原始状态，正确进行装配。

3. 实验装备及工具

单分型面注射模 1 套，双分型面注射模 1 套。

铁锤、铜棒、内六角扳手、活动扳手、游标卡尺、角尺、台虎钳等工具 2 套。

4. 实验步骤

① 在教师的指导下，首先熟悉注射模的总体结构，了解其工作原理，确定分型面。

② 按拆卸顺序拆卸注射模，边拆卸边了解注射模每个组成零件的结构及用途。

③ 将金属零部件涂抹防锈油。

④ 将注射模按初始状态重新装配，并进一步了解模具的结构及在注射机上工作时各部分动作、作用。

⑤ 绘制注射模装配草图。

5. 实验结果分析

① 每人绘制一张本组的注射模装配草图。

② 详细列出注射模上全部零件的名称、数量、用途及其所选用的材料，若选用的是标准件则列出标准代号。

③ 简要说明注射模的工作过程。

6. 实验报告

按规定的要求，写出实验报告。

7. 说明

实际做实验时，可根据具体情况和现有条件选用注射模，灵活安排实验内容。

参考文献

[1] 张荣清. 模具设计与制造[M]. 北京：高等教育出版社，2003.

[2] 王秀凤，张永春. 冷冲压模具设计与制造[M]. 2 版. 北京：北京航空航天大学出版社，2008.

[3] 张永江. 模具设计与制造基础[M]. 北京：高等教育出版社，2005.

[4] 申开智. 塑料成型模具[M]. 北京：中国轻工业出版社，2003.

[5] 陈志刚. 塑料模具设计[M]. 北京：机械工业出版社，2002.

[6] 屈华昌. 塑料成型工艺与模具设计[M]. 北京：高等教育出版社，2005.

[7] 翁其金. 塑料模塑工艺与塑料模设计[M]. 北京：机械工业出版社，1999.

[8] 阎亚林. 塑料模具图册[M]. 北京：高等教育出版社，2004.

[9] 唐志玉. 塑料模具设计师指南[M]. 北京：国防工业出版社，1999.

[10] 成虹. 冲压工艺与模具设计[M]. 北京：高等教育出版社，2002.

[11] 翁其金. 冷冲压技术[M]. 北京：机械工业出版社，2001.

[12] 高鸿庭，刘建超. 冷冲模设计及制造[M]. 北京：机械工业出版社，2002.

[13] 赵伟阁. 模具设计[M]. 西安：西安电子科大出版社，2006.

[14] 谢昱北. 模具设计与制造[M]. 北京：北京大学出版社，2005.

[15] 张海星. 冷冲压工艺与模具设计[M]. 杭州：浙江大学出版社，2006.

[16] 王孝培. 冲压手册[M]. 2 版. 北京：机械工业出版社，1990.

[17] 杜东福. 冷冲压工艺与模具设计[M]. 长沙：湖南科学技术出版社，1996.

[18] 丁松聚. 冷冲模设计[M]. 北京：机械工业出版社，2001.

[19] 冯炳尧. 模具设计与制造简明手册[M]. 2 版. 上海：上海科学技术出版社，1998.

[20] 刘建超. 冷冲压与塑料成形加工原理[M]. 西安：西北工业大学出版社，1996.

[21] 王芳. 冲压模具设计指导[M]. 北京：机械工业出版社，1998.

[22] 丛文龙. 数控特种加工技术[M]. 北京：高等教育出版社，2005.

[23] 李云程 . 模具制造工艺学[M]. 北京：机械工业出版社，2005.

[24] 马广，张国文，等. 冲压与塑料成型机械[M] . 济南：山东科技出版社，2004.

[25] 彭建声. 模具设计与加工速查手册[M]. 北京：机械工业出版社，2005.

[26] 白基成，郭永丰，等. 特种加工技术[M]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，2006.